

# **Měření a vyhodnocení vysokorychlostních dějů pomocí vysokorychlostního kamerového systému Olympus i-SPEED 2**

Bc. Michal Baroň

---

Diplomová práce  
2010



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická

---

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně  
Fakulta technologická  
Ústav výrobního inženýrství  
akademický rok: 2009/2010

## ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Michal BAROŇ**  
Studijní program: **N 3909 Procesní inženýrství**  
Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Téma práce: **Měření a vyhodnocení vysokorychlostních dějů  
pomocí vysokorychlostního kamerového systému  
Olympus i-SPEED 2**

Zásady pro vypracování:

- 1. Provedte rešerši vysokorychlostních kamerových systémů se zaměřením na Olympus i-SPEED 2**
- 2. Provedte přesný popis snímání, osvětlení a vyhodnocení snímané vysokorychlostní scény**
- 3. Navrhněte a výkresově zdokumentujte zdokonalení crashovacího zařízení**
- 4. Provedte praktická měření a vyhodnocení na reálných vzorcích**
- 5. Měření vyhodněte s využitím vhodných softwarů**

Rozsah práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

1. PATA, Vladimír. **Vysokorychlostní kamerové systémy**. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2006. 96 s. ISBN 80-7204-480-X.
2. Dostupné z WWW: <<http://www.olympus.com>>

Vedoucí diplomové práce:

**doc. Dr. Ing. Vladimír Pata**  
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce:

**19. února 2010**

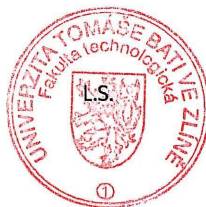
Termín odevzdání diplomové práce:

**19. května 2010**

Ve Zlíně dne 15. ledna 2010



doc. Ing. Petr Hlaváček, CSc.  
*děkan*



doc. Ing. Miroslav Maňas, CSc.  
*vedoucí katedry*

## PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby <sup>1)</sup>;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 <sup>2)</sup>;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 <sup>3)</sup> odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně .....

.....

---

<sup>1)</sup> zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

(2) Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

(3) Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

<sup>2)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

(3) Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

<sup>3)</sup> zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

(1) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpírá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

(2) Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

(3) Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

## **ABSTRAKT**

Tato diplomová práce se zabývá měřením vysokorychlostním kamerovým systémem Olympus i-SPEED 2, kde se pomocí tohoto kamerového systému řeší problematika testování roztržení autoskel a autoskel s bezpečnostní fólií. Při shromažďování informací o této problematice bylo zjištěno, že žádná ČSN ISO norma pro testování autoskel s bezpečnostní fólií neexistuje.

Nejdříve bylo navrženo vylepšení crashovacího zařízení dle ČSN EN ISO 6603-1: Plasty- Stanovení chování tuhých plastů při víceosém rázovém namáhání, tak aby pomocí této navržené konstrukce bylo umožněno testovat autoskla.

Poté byla na tomto zařízení pomocí vyrobené konstrukce provedena zkouška roztržení bočního autoskla. Následně kvůli porovnání nasnímaných dat se provedly praktické zkoušky v terénu, kde roztržení proběhlo na dvou vzorcích bočních autoskel umístěných přímo na vozidle, z toho jeden vzorek byl opatřen bezpečnostní fólií. Všechny tyto měření byly nasnímány vysokorychlostním kamerovým systémem. Při porovnání nasnímaných dějů bylo zjištěno, že chování autoskla při laboratorní zkoušce a praktické zkoušce v terénu je stejné.

Z výsledků práce lze usoudit, že laboratorní zkouška na vylepšeném crashovacím zařízení zcela dokáže simulovat praktická měření, které jsou časově náročné a finančně nákladné.

**Klíčová slova:** vysokorychlostní kamerový systém, Olympus i-SPEED 2, crashovací zařízení, autosklo

## **ABSTRACT**

This thesis deals with the measurement with high-speed camera system Olympus i-SPEED 2, when using the camera system solves the problem of testing shattering car side windows and car side windows with safety plastic film. During the gathering of information about this problems it was found that any CSN ISO standard for testing car side windows with safety plastic film does not exist.

First of all it was designed to improve a crashing machine according to the CSN EN ISO 6603-1: Plastics - Determination of puncture impact behaviour of rigid plastics, so that using of this designed construction could enable testing of car side windows.

Then the car side windows shattering test was performed using manufactured device. Subsequently, there were made practicals for comparison of captured data in the field, where shattering was realized on two samples of car side windows mounted directly on the vehicle, while one sample was fitted with safety plastic film. All these measurements were photographed through the high-speed camera system. When comparing the captured events, it was found that the behaviour of car side windows in the laboratory test and practical test in the field is the same.

Based on the results it is possible to deduce that laboratory test on the improved crashing device is fully able to simulate the practical measurements, that are time consuming and costly.

**Keywords:** high-speed camera system, Olympus i-SPEED 2, crash device, car side windows

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu mé diplomové práce panu doc. Dr. Ing. Vladimíru Patovi za odborné vedení, cenné rady a čas, který mi věnoval při vypracování této diplomové práce.

Prohlašuji, že odevzdaná verze diplomové práce a verze elektronická nahraná do IS/STAG jsou totožné.



# OBSAH

<b>ÚVOD</b> .....	<b>11</b>
<b>I TEORETICKÁ ČÁST</b> .....	<b>13</b>
<b>1 VYSOKORYCHLOSTNÍ KAMEROVÉ SYSTÉMY</b> .....	<b>14</b>
1.1 I-SPEED 1GB .....	15
1.2 I-SPEED 2.....	16
1.3 I-SPEED 3.....	22
1.4 I-SPEED FS .....	24
1.5 POROVNÁNÍ JEDNOTLIVÝCH VYSOKORYCHLOSTNÍCH KAMEROVÝCH SYSTÉMŮ .....	25
1.6 DÁLKOVÉ OVLÁDÁNÍ (RCP).....	26
1.7 PROPOJENÍ SYSTÉMU .....	26
1.7.1 Dálkové ovládání (RCP) .....	27
1.7.2 Připojení PC/přenosného počítače .....	28
<b>2 FUNKCE OVLIVŇUJÍCÍ SNÍMÁNÍ</b> .....	<b>29</b>
2.1 SNÍMKOVÝ KMITOČET.....	29
2.2 SHUTTERING.....	29
2.3 OSVĚTLENÍ .....	32
2.4 OBJEKTIVY .....	34
2.5 DYNAMICKÝ ROZSAH .....	35
2.6 SPOUŠŤ.....	35
<b>3 SOFTWAREOVÉ OVLÁDÁNÍ VYSOKORYCHLOSTNÍHO KAMEROVÉHO SYSTÉMU</b> .....	<b>37</b>
3.1 POŘÍZENÍ ZÁZNAMU .....	37
3.2 OTEVŘENÍ ULOŽENÝCH OBRAZŮ A DAT .....	40
3.3 STAŽENÍ A NAVIGACE V OKNĚ STRIP .....	40
3.4 PŘEHRÁVÁNÍ V OKNĚ WORKING .....	41
<b>4 REFERENCE K ZABUDOVANÉMU SOFTWARE (RCP)</b> .....	<b>45</b>
4.1 OBRAZOVKY MENU .....	45
4.1.1 Úvodní obrazovka Olympus i-SPEED .....	45
4.1.2 Hlavní menu i-SPEED .....	46
4.1.3 Menu ovládání obrazu i-SPEED .....	46
4.1.4 Menu ovládání záznamu i-SPEED .....	47
4.1.5 Menu přehrávání i-SPEED .....	47
4.1.6 Menu karty i-SPEED.....	47
4.1.7 Menu nastavení funkcí i-SPEED.....	48
<b>5 RÁZOVÉ ZKOUŠKY PÁDEM</b> .....	<b>49</b>

5.1	TERMÍNY A DEFINICE .....	49
5.2	PODSTATA ZKOUŠKY .....	49
5.3	ZKUŠEBNÍ PŘÍSTROJ .....	49
5.4	POSTUP ZKOUŠKY .....	50
5.5	PARAMETRY ZKOUŠKY .....	51
<b>6</b>	<b>KYVADLO.....</b>	<b>52</b>
<b>7</b>	<b>AUTOSKLO .....</b>	<b>55</b>
<b>II</b>	<b>PRAKTICKÁ ČÁST .....</b>	<b>57</b>
<b>8</b>	<b>KONSTRUKCE CRASHOVACÍHO ZAŘÍZENÍ .....</b>	<b>58</b>
8.1	NÁVRH VARIANTY A .....	59
8.2	NÁVRH VARIANTY B .....	61
8.3	ZAJIŠTĚNÍ POLOHY TLOUKU .....	64
<b>9</b>	<b>MĚŘENÍ.....</b>	<b>66</b>
9.1	TEPELNĚ-TVRZENÉ SKLO (LABORATORNÍ ZKOUŠKA) .....	66
9.1.1	Pokus 1 .....	71
9.1.2	Pokus 2 .....	72
9.1.3	Pokus 3 .....	74
9.2	TEPELNĚ-TVRZENÉ SKLO (PRAKTICKÁ ZKOUŠKA V TERÉNU).....	77
9.3	TEPELNĚ TVRZENÉ SKLO S BEZPEČNOSTÍ FÓLÍÍ (PRAKTICKÁ ZKOUŠKA V TERÉNU) .....	84
9.3.1	Pokus 1-4.....	86
9.3.2	Pokus 5 .....	87
9.4	SROVNÁNÍ .....	89
	<b>ZÁVĚR .....</b>	<b>90</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY .....</b>	<b>92</b>
	<b>SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....</b>	<b>94</b>
	<b>SEZNAM OBRÁZKŮ .....</b>	<b>96</b>
	<b>SEZNAM TABULEK.....</b>	<b>99</b>
	<b>SEZNAM PŘÍLOH.....</b>	<b>100</b>

## ÚVOD

Tato diplomová práce je vypracována na téma: Měření a vyhodnocení vysokorychlostních dějů pomocí vysokorychlostního kamerového systému Olympus i-SPEED 2.

V teoretické části jsou podrobně popsány vysokorychlostní kamerové systémy firmy Olympus se zaměřením na typ Olympus i-SPEED 2, který je k dispozici na ústavu fakulty. Dále se zde řeší faktory, které mají významný vliv na kvalitu nasnímaného děje, jako je osvětlení, nastavení snímací rychlosti a shuttering. Veškeré tyto faktory hrají důležitou roli při vysokorychlostním snímání a to především při crash testech, kdy se v praxi často stává, že je k dispozici pouze jeden vzorek, který je nákladný a nemůže dojít k selhání nastavení těchto parametrů tak, že by se snímáný děj nezachytil.

Praktická část diplomové práce se zabývá testováním bočních autoskel, které budou podrobeny crash testu. Boční autoskla jsou v průběhu výroby podrobeny tepelnému tvrzení, které zabezpečí zvýšenou odolnost autoskla a při případném rozbití dojde k roztržení celé plochy autoskla na drobné úlomky, které nejsou nebezpečné posádce automobilu při havárii. Zároveň se v dnešní době stále častěji setkáváme s ochranou autoskla vůči mechanickému poškození či vloupání pomocí bezpečnostní fólie. Zkoušením bočních autoskel se zabývá norma ČSN 70 1550: *Bezpečnostní sklo tvrzené - Sklo pro zasklívání dopravních prostředků*, bohužel však neexistuje norma týkající se testování autoskel s bezpečnostní fólií.

Při zkoušení crash testů autoskel simulujících skutečné chování vzorku se jeví jako nejlepší možnost testovat tyto vzorky umístěné přímo na automobilu (reálný test). Tato možnost zkoušení však vykazuje i širokou škálu problémů souvisejících především s časovou náročností těchto zkoušek a finanční stránkou. Problémy mohou způsobit i prostředí (složitě zaručena opakovatelnost) a bezpečnostní hledisko.

Jako možná varianta nasimulování těchto testů se jeví zkoušení na crashovacím zařízení, které popisuje norma ČSN EN ISO 6603-1: *Plasty - Stanovení chování tuhých plastů při víceosém rázovém namáhání*.

Snahou praktické zkoušky bude dokázat, zda varianta testování na crashovacím zařízení dokáže nahradit často problematické reálné zkoušení v terénu, kdy úkolem bude vysokorychlostně nasnímat chování autoskel při roztržení jak při reálné zkoušce v terénu, tak i na crashovacím zařízení, které je k dispozici na ústavu fakulty.

Nutností tohoto crashovacího zařízení je zároveň i navrhnutí konstrukce, která umožní snadnou manipulaci s tloukem a zároveň aby toto zařízení umožňovalo testovat autoskla. Zde se jako hlavní problém jeví to, že při spuštění tlouku vodící trubkou není možné umístit autosklo tak, aby tlouk dopadl do středu autoskla.

## **I. TEORETICKÁ ČÁST**

## 1 VYSOKORYCHLOSTNÍ KAMEROVÉ SYSTÉMY

U rychlých průmyslových zařízení a zkoušek je často třeba provést záznam a analýzu extrémně rychlých dějů. Jednou z možností je využití vysokorychlostních snímacích zařízení tzv. vysokorychlostních kamer. Výhodou těchto zařízení je možnost zpomaleného přehrání, nebo i následná analýza dějů po jednotlivých snímcích, což umožní uživateli podrobně prostudovat snímané děje a rychle odhalit problémy.

### Typické použití vysokorychlostních kamer:

- letecký a automobilový výzkum,
- zkušebnictví - zkoušky mechanických vlastností materiálů (odolnost proti nárazu a průrazu, průběh lomu) či odolnost dílčích sestav nebo celých výrobků (působení vibrací, rázů, tlaku apod.),
- zvýšení rychlosti a efektivnosti robotických linek,
- posuzování zásadně důležitých bezpečnostních komponentů (airbag test),
- balistické testy, včetně testů výbušnin,
- analýza rychlých výrobních procesů (např. utváření třísek při vysokorychlostním obrábění),
- oblast výzkumu.

Vysokorychlostní kamera je přenosné optoelektronické zařízení pro vytváření obrazového záznamu velmi vysokou frekvencí snímání. Soubor moderní vysokorychlostní kamery jsou stejně jako klasické "pomalé" kamery digitální. Vysokorychlostní kamery mohou být jak barevné, tak černobílé. Černobílý záznam může být u kamer za určitých okolností výhodnější s ohledem na menší objem zpracovaných a přenášených dat. Vysokorychlostní kamery se od běžných digitálních kamer liší i svým vzhledem. Jsou to zpravidla nevzhledné plechové "krabice" s vystupujícím objektivem, bez displeje a s minimem ovládacích prvků, neboť k nastavení parametrů záznamu a ovládání kamery slouží externí zařízení, nejčastěji řídicí panely nebo PC. V současné době jsou v celosvětovém měřítku používány především vysokorychlostní kamery firem Olympus (Japonsko) a Redlake (USA). [15]

Vysokorychlostní kamerové systémy vyvinuty japonskou společností Olympus Optical Co. Ltd Tokio jsou vyráběny ve Velké Británii.

V současné době firma Olympus nabízí 4 typy vysokorychlostních kamerových systémů na trhu: i-SPEED 1 GB, i-SPEED 2, i-SPEED 3, i-SPEED FS.

#### **Základní typy vysokorychlostních kamer:**

- kompaktní sestava-display je integrovanou částí kamery (Trouble shooter),
- samostatná kamera-s možností připojení periferních zařízení (Olympus).

### **1.1 i-SPEED 1GB**

Kamera i-SPEED 1GB byla navržena pro aplikace, kde je požadováno snadno a rychle pořídít záznam. Kamera je velmi jednoduše přenosná, odolná a má jednoduché ovládání.

[2]



Obr. 1. i-SPEED 1GB [2]

Tab. 1. Parametry sestavy i-SPEED 1GB [2]

Model	Doba záznamu při plném rozlišení(s)
1 GB barevný	1,25
1 GB monochromatický	1,25

Rozlišení:	800 x 600 pixel
Maximální rychlost:	1 000 fps
Rychlost při maximálním rozlišení:	1 000 fps
Montáž objektivu:	C-mount
Shutter:	5 $\mu$ s
Rozměry:	115 mm (š) x 110 mm (v) x 233 mm (d)
Hmotnost:	2 kg
Příkon:	36 W
Vstupní napětí:	12 V DC (110-240V AC)
Provozní teplota:	0-+40°C

## 1.2 i-SPEED 2

Kamery i-SPEED 2 nabízejí flexibilitu, přesnost a rozšiřují záznam videa o širokou škálu dalších možností. Dále nabízejí analýzu obrazu, rychlé stahování dat a to vše pomocí uživatelsky příjemného ovládání. [2]

Kamera i-SPEED 2 je samostatná jednotka se snímačem CMOS a s vestaveným procesorem poskytuje rozlišení 800 x 600 při 1 000 obr/s. Kamera dosahuje rychlosti 33 000 obr/s a ukládá obrázky do interní paměti o velikosti 2 GB nebo 4 GB. Kamera je k dispozici v barevném nebo monochromatickém provedení. [2]





Obr. 2. i-SPEED 2 [2]

Tab. 2. Parametry sestavy i-SPEED 2 [13]

Model	Doba záznamu při plném rozlišení (s)
2 GB monochromatický	4,5
4 GB monochromatický	9
2 GB barevný	4,5
4 GB barevný	9
4 GB monochromatický HG	9
4 GB barevný HG	9

Kamera může být ovládaná jako samostatná jednotka pomocí CDU nebo přes PC pomocí konektoru 100BaseT Ethernet.

Rozměry: 115 mm (š) x 110 mm (v) x 233 mm (d)

Váha: 2 kg

Vstupní napětí: 12 V DC +/-10%

Příkon: max. 36 W

Montáž na stativ: 4 x 1/2'' Whitworthův závit

Montáž objektivu:	C-mount
Rozlišení snímáče:	800 x 600 pixel
Shutter:	5 $\mu$ s
Standardní vnitřní paměť:	2 GB nebo 4 GB
Signál Ethernet:	10/100BaseT, automatické přepínání
Video výstup SVGA:	SVGA (800 x 600), 60 Hz
Výstup kompozitního video signálu:	NTSC/PAL volitelný

### CDU

Rozměry:	267 mm (š) x 210 mm (v) x 43 mm (d)
Váha:	1,25 kg
Display:	8,4'' LCD
Vstupní napětí:	12 V $\pm$ 10 % DC (110-240 V AC)
Příkon:	max. 8 W

### Parametry prostředí:

Teplota:	Skladovací -20 °C - +60 °C Provozní 0 °C- +40 °C
Tlak:	71 kPa-106 kPa

Kamera i-SPEED 2 je taky k dispozici v robustní konfiguraci High-G, která je navrhnutá pro přetížení až 100G.

Kamera High-G	100G při 11 ms IEC 68-2-27 Ea
	100G při 2 ms IEC 68-2-29 Eb

Kamera High-G je k dispozici jen s pamětí 4 GB.

Následující tabulka uvádí snímací parametry pro model s kapacitou paměti 2 GB. Paměť 4GB zdvojnásobuje počet uložených snímků a dobu záznamu.

Tab. 3. Jmenovité hodnoty rychlostí a rozlišení [13]

Rychlost (obr/s)	Doba záznamu (s)	Rozlišení (š)	Rozlišení (v)	Počet pixelů na snímek	Počet snímků v paměti	Zoom
60	74,55	800	600	480000	4473	1,00
100	44,73	800	600	480000	4473	1,00
150	29,82	800	600	480000	4473	1,00
200	22,37	800	600	480000	4473	1,00
300	22,37	800	600	480000	4473	1,00
400	11,18	800	600	480000	4473	1,00
500	8,95	800	600	480000	4473	1,00
600	7,46	800	600	480000	4473	1,00
800	5,59	800	600	480000	4473	1,00
1000	4,47	800	600	480000	4473	1,00
1500	4,23	672	504	335355	6340	1,19
2000	4,32	576	432	248832	8630	1,39
3000	4,76	448	336	150628	14226	1,79
4000	4,85	384	288	110592	19418	2,08
5000	5,59	320	240	76800	27962	2,50
6000	5,75	288	216	62208	34521	2,78
8000	5,46	256	192	49152	43690	3,13
10000	5,71	224	168	37632	57065	3,57
15000	7,46	160	120	19200	111848	5,00
20000	8,74	128	96	12288	174762	6,25
33000	9,41	96	72	6912	310689	8,33

**Připojovací systém:**

Obr. 3. Připojovací systém

*1 - Konektor SVGA*

Na tomto konektoru je signál SVGA s videoobrazem a přes něj zobrazovanou grafikou. Pokud je použita jednotka CDU, je na tomto konektoru kopie obrazu z CDU. Výstupní signál je 60 Hz videosignál PC standardu SVGA a konektor je běžný 15 kolíkový D-sub video konektor PC. Proto lze tento signál připojit přímo k PC monitoru (LCD nebo CRT) a získat tak nejlepší možnou kvalitu živého analogového obrazu z kamery. [1]

*2 - Spínač Reset**3 - PCMCIA slot*

Kamera dokáže pracovat s flash pamětí ve formátu PCMCIA. Lze použít karty standardu ATA FLASH s napájením 3,3 nebo 5 V. Pomocí dodávaného PCMCIA adaptéru lze použít i karty Compact Flash, které se používají pokud je potřeba větší paměťové kapacity. Po vložení je nutno kartu silně zasunout až na doraz, vyjmout ji lze po stisku tlačítka na dolní straně slotu. [1]

*4 - Ovládací konektor*

Tento konektor umožňuje připojit ke kameře jednotku CDU nebo RCP. Zajišťuje napájení jednotky RCP nebo CDU z kamery, přenos video signálu z kamery do jednotky CDU a přenos informací o stiscích tlačítek z jednotek RCP nebo CDU do kamery. [1]

#### *5 - Konektor rozšiřujících funkcí*

Tento konektor obsahuje řadu signálů. Jsou shromážděny do jednoho konektoru, aby mohl být zadní panel kamery menší a aby tedy bylo možno vyrobit co nejmenší kameru. Signály z tohoto konektoru lze získat připojením standardně dodávaného kabelu konektoru rozšiřujících funkcí, zakončeného řadou konektorů s níže uvedeným označením. [1]

#### *6 - Konektor Ethernet*

Tento konektor je standardní konektor RJ45 se dvěma zabudovanými LED kontrolkami navíc. Signál odpovídá normě Ethernet 10-T nebo Ethernet 100-T a systém Olympus i-SPEED se automaticky přizpůsobí síti, k níž je připojen. Kabel Ethernet od zařízení musí být připojen k rozbočovači Ethernet, i když pomocí kříženého kabelu lze zařízení přímo připojit k PC. Doporučuje se, aby všechny prvky použité v síti Ethernet podporovaly normu 100-T, protože tak lze využít vyšší provozní rychlost síťové karty zabudované v kameře. [1]

#### *7 - BNC konektor kompozitního videa*

Tento konektor poskytuje standardní kompozitní barevný video signál PAL nebo NTSC pro video monitor. BNC je průmyslový standard připojení tohoto typu signálu a součástí dodávky je kabel kompozitního videa s BNC konektory. [1]

#### *8 - Napájecí konektor*

Je určen k přivedení napájecího napětí kamery se jmenovitou hodnotou 12 Vss. Toto napájení zajišťuje provoz kamery ale také jednotek CDU nebo RCP. Napájecí vstup je chráněn před prepólováním a záměna polarity v běžných případech vede jen ke spálení pojistky. [1]

#### *9 - Konektor rozšiřujících funkcí / kabel konektoru rozšiřujících funkcí*

Tento konektor obsahuje řadu signálů. Jsou shromážděny do jednoho konektoru, aby mohl být zadní panel kamery menší a aby tedy bylo možné vyrobit co nejmenší kameru. Signály z tohoto konektoru lze získat připojením standardně dodávaného kabelu konektoru rozšiřujících funkcí, zakončeného řadou konektorů s níže uvedeným označením. [1]



Obr. 4. Konektor rozšiřujících funkcí

### 1.3 i-SPEED 3

Tato kamera byla navržena tak, aby vyhovovala specifikacím poskytující vysoké rozlišení, extrémní světelnou citlivost a záznam až do 150 000 snímků za sekundu. Vytváří ideální nástroj pro nejvyšší úroveň výzkumu. [2]



Obr. 5. i-SPEED 3 [2]

Tab. 4. Parametry sestavy i-SPEED 3 [16]

Model	Doba záznamu při plném rozlišení(s)
4 GB monochromatický	1,2
8 GB monochromatický	2,4
16 GB monochromatický	4,9
4 GB barevný	1,2
8 GB barevný	2,4
16 GB barevný	4,9

Maximální rychlost snímání:	150 000 fps
Rychlost snímání při plném rozlišení:	2 000 fps
Shutter:	1 $\mu$ s
Montáž objektivu:	F-mount
Rozměry:	112 mm (š) x 141 mm (v) x 341 mm (d)
Hmotnost:	5 kg včetně baterie
Příkon:	80 W
Vstupní napětí:	14-28 V DC (110-240 V AC)
Provozní teplota:	0-+40 °C

## 1.4 i-SPEED FS

Nejnovější vyráběnou řadou vysokorychlostních kamerových systémů firmy Olympus je kamera i-SPEED FS, která byla vyrobena převážně pro balistické zkoušky. Rychlost této kamery je 1 000 000 fps a shutter 200 ns. Při tvorbě diplomové práce tato kamera nebyla ještě na trhu, tudíž bližší informace nebyly k dispozici.



Obr. 6. i-SPEED FS [2]



## 1.5 Porovnání jednotlivých vysokorychlostních kamerových systémů

Tab. 5. Porovnání parametrů vysokorychlostních kamerových systémů [2, 16, 13]

	i-SPEED 3			i-SPEED 2			i-SPEED 1 GB		
	Interní paměť 4 GB			Interní paměť 2 GB			Interní paměť 1 GB		
Počet snímků za sekundu	Rozlišení	Počet obrázků v paměti	Doba záznamu (s)	Rozlišení	Počet obrázků v paměti	Doba záznamu (s)	Rozlišení	Počet obrázků v paměti	Doba záznamu (s)
1	1280 x1024	2447	2447,00						
60	1280x1024	2447	40,783	800x600	4473	74,55	800x600	2236	37,275
100	1280x1024	2447	24,470	800x600	4473	44,73	800x600	2236	22,365
150	1280x1024	2447	16,313	800x600	4473	29,82	800x600	2236	14,910
200	1280x1024	2447	12,235	800x600	4473	22,37	800x600	2236	11,185
300	1280x1024	2447	8,157	800x600	4473	14,91	800x600	2236	7,455
400	1280x1024	2447	6,118	800x600	4473	11,18	800x600	2236	5,590
500	1280x1024	2447	4,894	800x600	4473	8,95	800x600	2236	4,475
1000	1280x1024	2447	2,447	800x600	4473	4,47	800x600	2236	2,235
1500	1280x1024	2447	1,631	672x504	-	-	-	-	-
2000	1280x1024	2447	1,224	576x432	-	-	-	-	-
3000	1068x800	3768	1,256	448x336	-	-	-	-	-
4000	912x684	5192	1,298	384x288	-	-	-	-	-
5000	804x600	6670	1,334	320x240	-	-	-	-	-
10000	528x396	15390	1,539	224x168	-	-	-	-	-
15000	420x312	24555	1,637	160x120	-	-	-	-	-
20000	348x260	35580	1,779	128x96	-	-	-	-	-
30000	264x196	62190	2,073	-	-	-	-	-	-
40000	216x160	93120	2,328	-	-	-	-	-	-
50000	180x132	135450	2,709	-	-	-	-	-	-
75000	132x96	253950	3,386	-	-	-	-	-	-
100000	96x72	465700	4,657	-	-	-	-	-	-
125000	72x52	859625	6,877	-	-	-	-	-	-
150000	60x40	1219050	8,127	-	-	-	-	-	-

## 1.6 Dálkové ovládání (RCP)

Tento ruční přístroj se připojuje k ovládacímu konektoru kamery a je napájen z kamery. Kamera dokáže rozpoznat připojenou jednotku RCP a zobrazuje pak na PC nebo TV monitoru specializovanou sadu menu. [1]

Jednotka RCP slouží k pohybu v tomto systému menu.



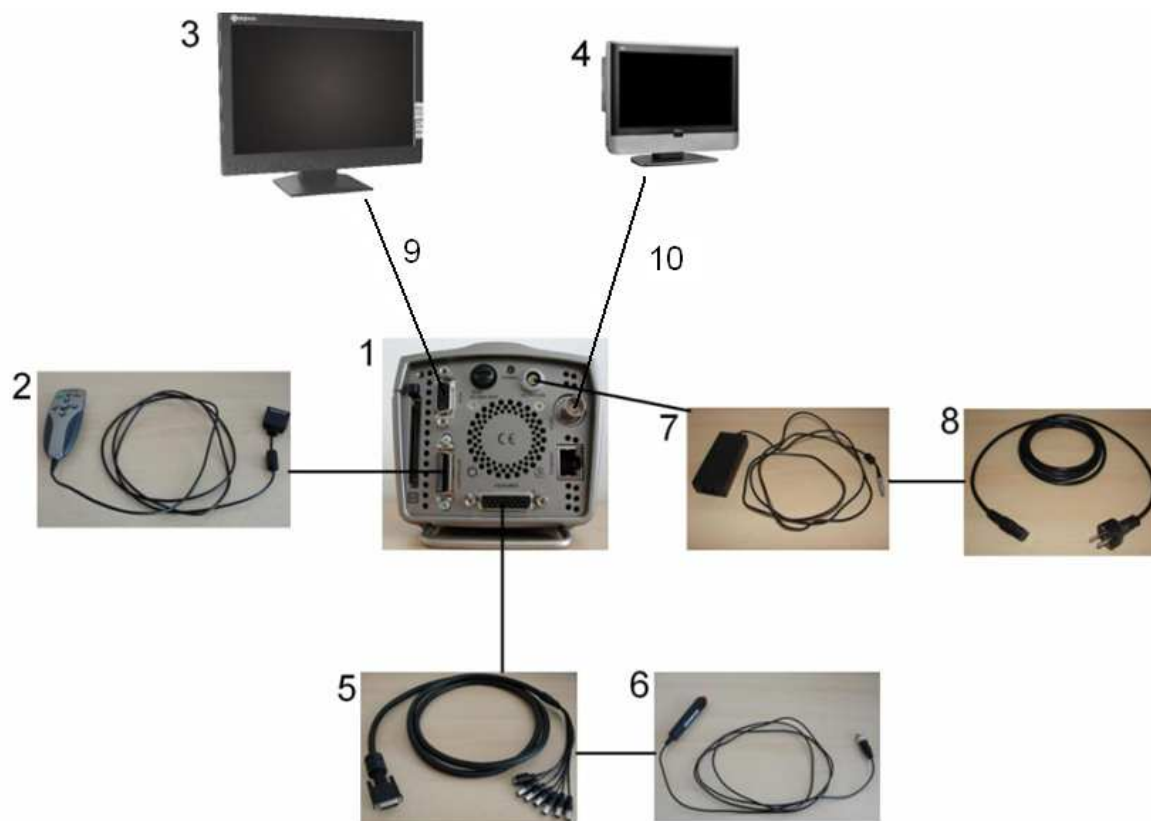
Obr. 7. Jednotka RCP

- 1 - Tlačítko záznamu / přehrávání
- 2 - Tlačítko ENT / MENU
- 3 - Tlačítko zpět
- 4 - Tlačítko stop / zpětný chod
- 5 - Navigační tlačítka

## 1.7 Propojení systému

Kamerový systém i-SPEED lze konfigurovat do tří podob s dálkovým ovládáním (RCP), ovládací jednotkou displeje (CDU) nebo s ovládáním kamery a přenosem obrazových dat přes síť Ethernet po připojení k PC nebo přenosného počítače. [1]

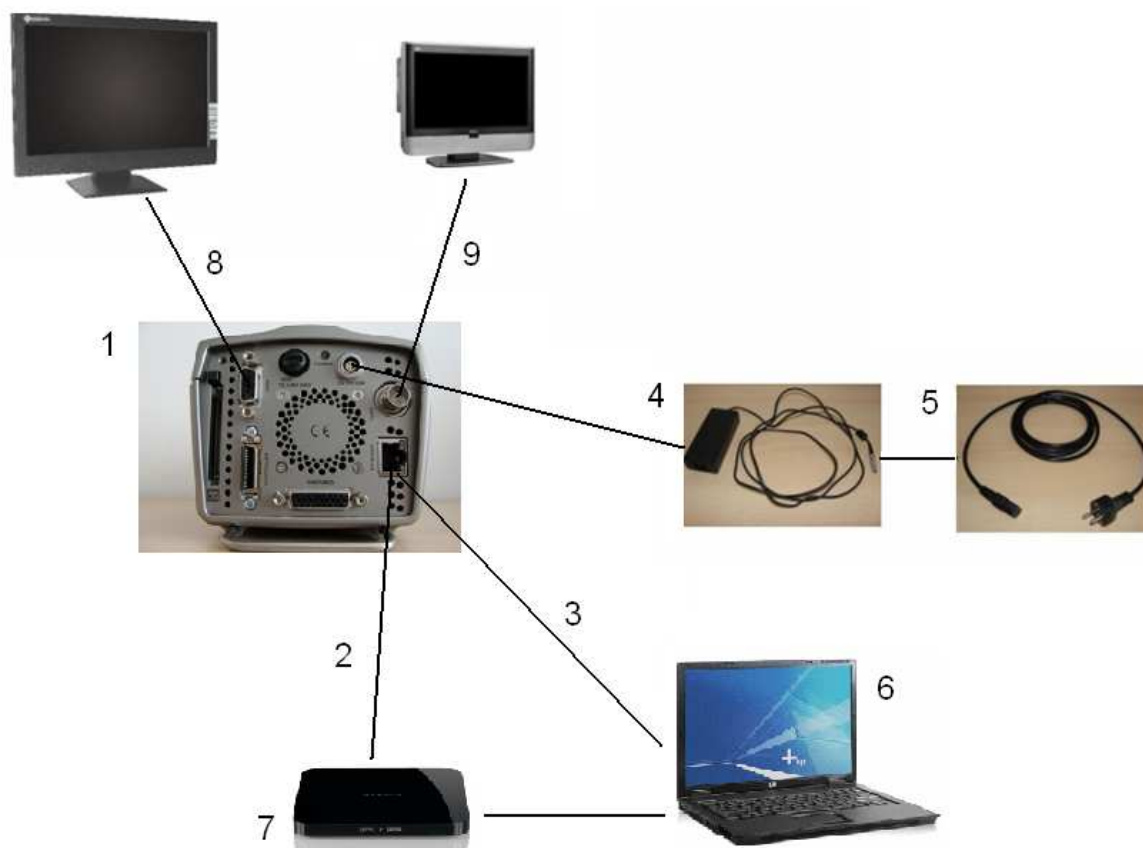
### 1.7.1 Dálkové ovládání (RCP)



Obr. 8. Propojení systému pomocí RCP

- 1 - Kamera
- 2 - RCP(dálkové ovládání)
- 3 - PC
- 4 - TV monitor
- 5 - Kabel konektoru rozšiřujících funkcí
- 6 - Spínač spouště
- 7 - Napájecí zdroj (PSU)
- 8 - Síťový napájecí kabel
- 9 - VGA kabel
- 10 - Kabel kompozitního videa s BNC konektory

### 1.7.2 Připojení PC/přenosného počítače



Obr. 9. Propojení systému pomocí PC/přenosného počítače

- 1 - Kamera
- 2 - Kabel Ethernet (černý)
- 3 - Křížený kabel Ethernet (šedý)
- 4 - Napájecí zdroj (PSU)
- 5 - Síťový napájecí kabel
- 6 - Přenosný počítač (nebo PC)
- 7 - Síťový rozbočovač
- 8 - VGA kabel
- 9 - Kabel kompozitního videa s BNC konektory

## 2 FUNKCE OVLIVŇUJÍCÍ SNÍMÁNÍ

### 2.1 Snímkový kmitočet

Vysokorychlostní kamera Olympus i-SPEED 2 využívá ke snímání specializovaný snímač, ale i přes toto opatření existuje limit počtu obrazových bodů, které dokáže snímač zpracovat za sekundu. Tím je rychlost snímání omezena na 1 000 snímků za sekundu (fps).

Jestliže je požadavek rychlejšího snímání, je nutné snížit počet bodů tvořících jeden snímek, a k tomu lze využít omezení aktivní plochy obrazového snímače. Tato funkce se nazývá Výřez a systém Olympus i-SPEED 2 tak dokáže zpracovat až 33 000 snímků za sekundu. Omezení plochy obrazového snímače zajišťuje obvod zoomování zabudovaný do elektroniky kamery. [1]

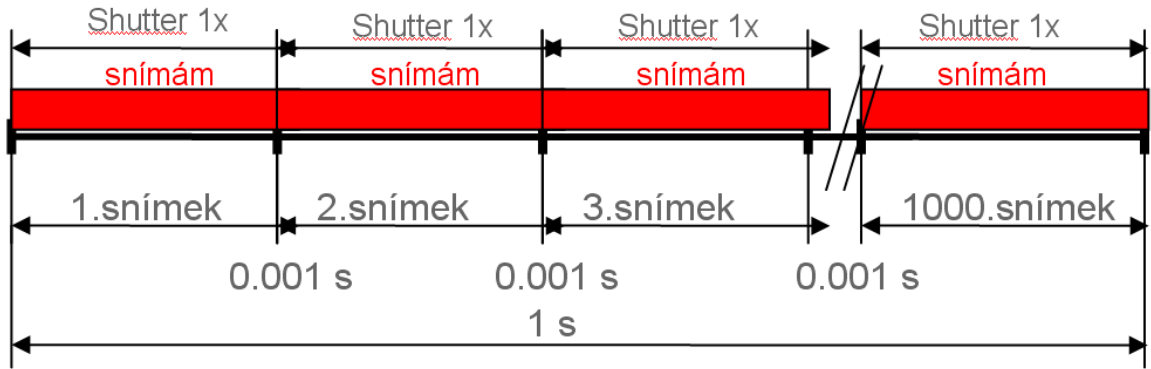
Pokud se nastaví při snímání nižší rychlost než 1 000 fps, doba záznamu se prodlouží, protože snímky budou ukládány v delších intervalech. Jestliže se nastaví vyšší rychlost snímání, tak doba záznamu se nijak významně nezmění, jelikož ukládané snímky jsou menší. [1]

### 2.2 Shuttering

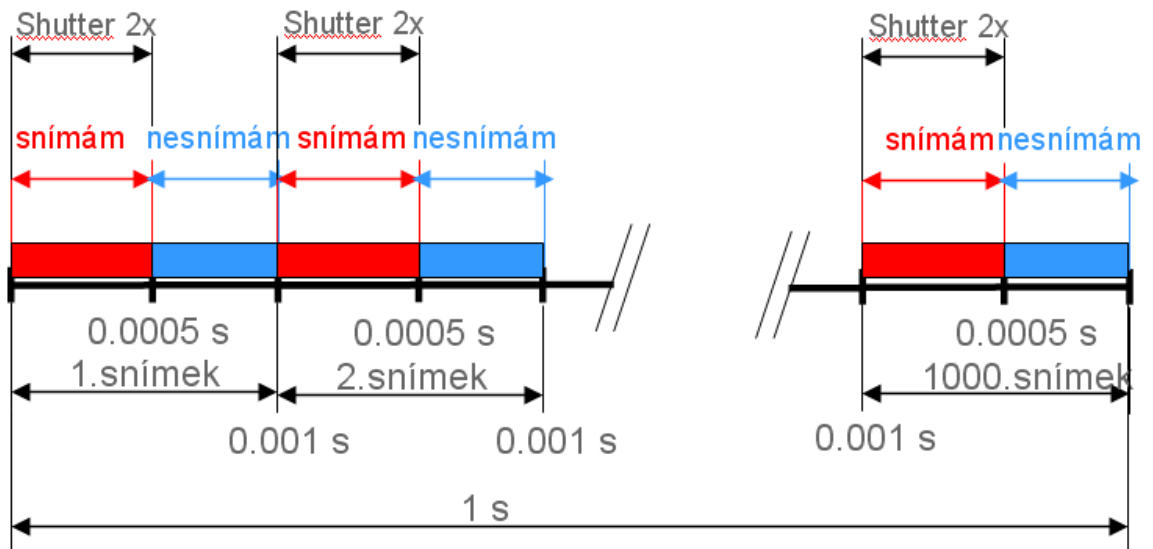
Obrazový snímač funguje tak, že zachycuje dopadající světlo a převádí je na elektronický tvar obrazu, který přenáší do paměti, zatímco se cyklus zachycování obrazu již začíná opakovat. Doba, po kterou se shromažďuje světlo dopadající na snímač se nazývá „expoziční čas“ nebo „čas závěrky“. Čas závěrky obvykle maximálně využívá celou dobu odpovídající převrácené hodnotě snímkového kmitočtu nazývanou „doba snímku“. [1]

Pokud se sledovaný objekt ve scéně pohybuje velmi rychle, může se během doby snímku posunout tak, že je obraz rozmazaný. Toto pohybové rozmazání je někdy nepřijatelné a kamera Olympus i-SPEED 2 nabízí možnost zkrácení času závěrky na zlomek doby snímku, čímž se objekt na snímku zmrazí. Čas závěrky je udáván jako poměr převrácené hodnoty snímkového kmitočtu a doby otevření závěrky, například  $x/10$  znamená, že je závěrka otevřena jen po  $1/10$  možné doby. [1]

Zkrácením času závěrky však klesne množství světla dopadajícího na snímač a obraz bude tmavší. Z tohoto důvodu je nutno při zkrácení času závěrky zvýšit intenzitu osvětlení scény. [1]

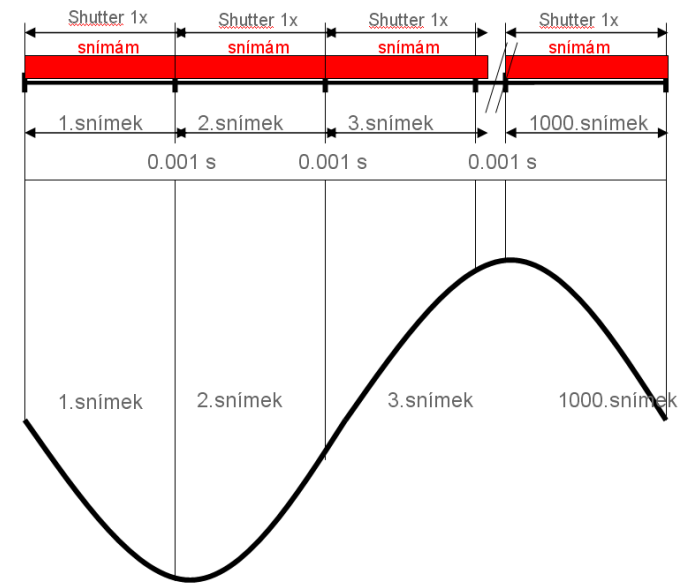


Obr. 10. 1 000 snímků/s, Shutter 1 x

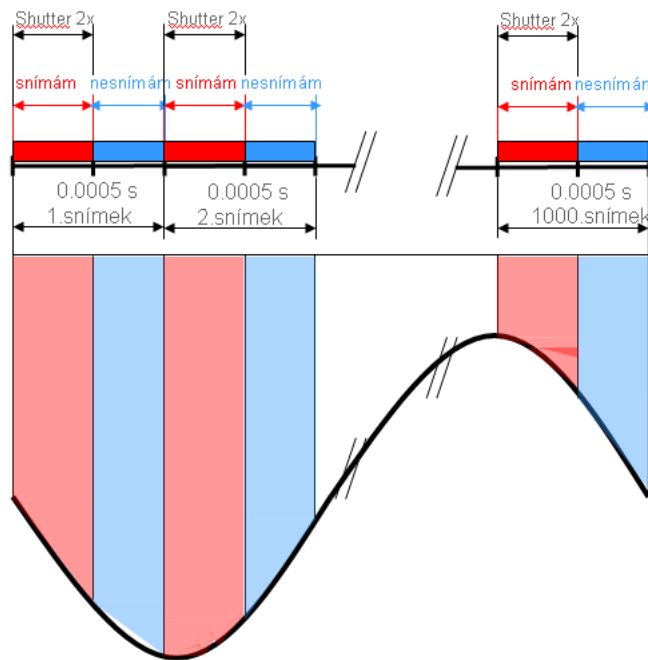


Obr. 11. 1 000 snímků/s, Shutter 2 x

Vliv shutteringu na snímání periodického děje



Obr. 12. Vliv shutteringu na snímání periodického děje - Shutter 1 x



Obr. 13. Vliv shutteringu na snímání periodického děje - Shutter 2 x

Praktické použití shutteringu je u kamery Olympus i-SPEED 2 nad 1 000 snímků/s.

Tab. 6. Nastavení parametrů (rychlost snímání/shutter při snímání)

Vyšší rychlost záznamu x nižší Shutter	Nižší rychlost záznamu x vyšší Shutter
Lepší představa o plynulosti pohybu	Horší představa o plynulosti pohybu
Vyhodnocovaný objekt je opticky přesně definován	Vyhodnocovaný objekt není přesně opticky definován
Klesá pixelová rozlišitelnost	Zvýšení rychlosti snímání při vyšší pixelové rozlišitelnosti

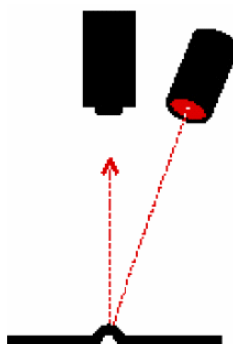
## 2.3 Osvětlení

Nastavení času závěrky a snímkového kmitočtu výrazně mění požadavky na osvětlení snímané scény. Proto většina dějů snímána vysokorychlostními kamerami vyžaduje silné osvětlení a tento problém je nutno řešit. Přibližné pravidlo říká, že u většiny záběrů v interiéru je zapotřebí přídavné osvětlení s příkonem 500 až 2 000 W. Tradičním řešením je zaměřit na snímanou scénu několik výkonných bodových reflektorů, ale u menších zkoumaných objektů je optimálním řešením k dosažení ideálního osvětlení využít nabídku průmyslových svítidel a světlovodů firmy Olympus. U řady aplikací nestačí použít svítidla s vysokým příkonem, protože množství světla není ani zdaleka tak důležité jako jeho soustředění. [1]

### Základní způsoby osvětlení měřeného objektu

#### a) přímé osvětlení

Nejpoužívanější a zároveň nejjednodušší.

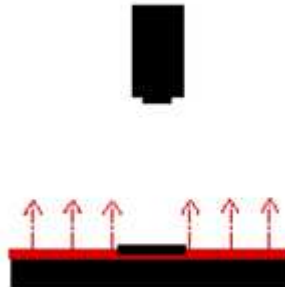


Obr. 14. Přímé osvětlení



**b) podsvětlení**

Zvýrazňuje siluety objektu.



Obr. 15. Podsvětlení

**c) rozptýlené osvětlení**

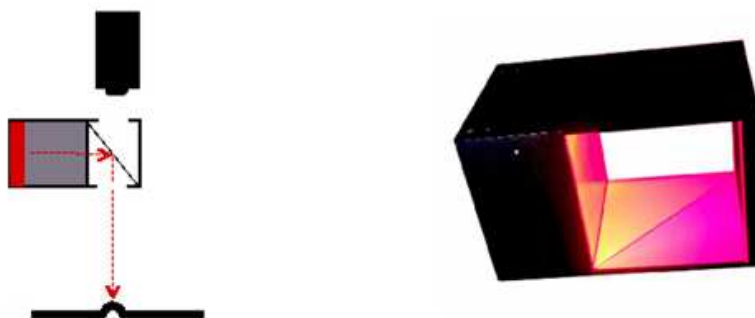
Rovnoměrné osvětlení objektu ze všech směrů.



Obr. 16. Rozptýlené osvětlení

**d) sousé osvětlení**

Rovnoměrné osvětlení bez stínů.



Obr. 17. Sousé osvětlení

## 2.4 Objektivy

Dalším důležitým faktorem ovlivňující kvalitu snímání je výběr správného objektivu. Výběr objektivu začíná volbou ohniskové vzdálenosti, která se udává v mm. Pokud je zapotřebí snímat malou plochu nebo pokud musí být kamera umístěna dál od scény, tak se obvykle používá objektiv s dlouhou ohniskovou vzdáleností. Dlouhá ohnisková vzdálenost znamená větší zvětšení. Nevýhodou tohoto objektivu je zmenšení zdánlivé vzdálenosti objektů v záběru ve směru osy pohledu. Tento jev se nazývá komprese perspektivy. Tento objektiv zároveň mívá nižší světelnost (vyšší clonové číslo) a proto obraz není tak jasný. [1]

Objektiv s krátkou ohniskovou vzdáleností je používán tam, kde je zapotřebí snímat velkou plochu nebo pokud musí být kamera umístěna blízko u snímané scény. Tyto objektivy deformují perspektivu záběru a tento jev se nazývá soudkové zkreslení. [1]

Normální objektivy mají nastavitelnou clonu, která umožňuje ovládat množství světla vstupujícího do kamery. Čím vyšší clonové číslo, tím méně světla projde clonou. Zvýšením clonového světla se zároveň zvýší hloubka ostrosti. To znamená, že objektiv dokáže lépe zachytit blízké i vzdálené objekty, tj. nastavení malého otvoru v cloně je výhodou. [1]

Tato výhoda je ovšem popřena požadavkem HSV natáčení, kdy potřebujeme co nejvíce světla, zejména při vysokých snímkových kmitočtech a krátkých časech závěrky.

Obecně se doporučuje využívat menší otvor v objektivu (vyšší clonové číslo) a zesílit osvětlení. Nelze doporučit žádný ideální objektiv, ale pro kameru Olympus i-SPEED 2 se za průměrný objektiv považuje objektiv s ohniskovou vzdáleností 25 mm a s rozsahem clonových čísel  $f/1.4$  až  $f/22$ . [1]



Obr. 18. Objektiv PENTAX 12,5-75 mm, 1:1,8

## 2.5 Dynamický rozsah

Schopnost současně sledovat světlá i tmavá místa se označuje jako dynamický rozsah.

Obrazový snímač kamery Olympus i-SPEED 2 dokáže světlo zachycovat nelineárně. Tak každý obrazový bod sám o sobě může s rostoucí intenzitou dopadajícího světla snižovat svou citlivost. Díky tomuto efektu může snímač vidět v jednom obrazu velmi tmavá i velmi jasná místa a tato funkce se nazývá dynamické rozšíření rozsahu. [1]

## 2.6 Spoušť

Kamera Olympus i-SPEED 2 zaznamenává video do kruhové vyrovnávací paměti a tento proces se může neustále opakovat.

Způsob zastavení záznamu je velmi důležitý, protože rozhoduje o tom, zda bude zachycena událost, která nás zajímá. Existují dvě metody, jak zastavit záznam prováděný kamerou i-SPEED 2.

První možností je stisknout tlačítko v menu a tím okamžitě zastavit záznam, tj. v paměti zůstane záznam videa pořízený před stiskem tlačítka. [1]

Druhou možností je využít vnější elektrický signál spouště, který kameru zastaví po uplynutí uživatelem nastavené prodlevy. [1]

Umožněním záznamu i po vnější události spouště se zachytí jak úsek děje před touto událostí, tak i po ní. Kamera tak uchová záznam celé události, i pokud událost spouště nastane až během události. [1]

Prodleva mezi událostí spouště a zastavením záznamu se nastavuje počítadlem snímků, které se označuje jako počítadlo spouště. Délka tohoto úseku se nastavuje v menu a vyjadřuje se jako procentní podíl z celkové kapacity paměti.

Hodnota počítadla se udává z pohledu výsledné videosekvence, takže při nastavení 0 % se celá paměť kamery zaplní až po vnější události spouště. Snímek pořízený v okamžiku spuštění je tak prvním snímkem výsledného videoklipu. Pokud je spuštění nastaveno na 100 %, záznam se při vnější události spouště okamžitě zastaví a snímek pořízený v okamžiku spuštění je posledním snímkem výsledného videoklipu. [1]

### 3 SOFTWAREVÉ OVLÁDÁNÍ VYSOKORYCHLOSTNÍHO KAMEROVÉHO SYSTÉMU

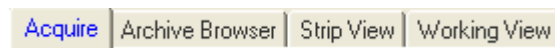
Součástí příslušenství vysokorychlostní kamery Olympus i-SPEED 2 je i software i-SPEED PC. Pomocí tohoto softwaru lze vyhodnocovat snímanou scénu.

i-SPEED 2 PC software se dodává ve 3 verzích:

- základní verze
- pokročilá verze
- deluxe verze

#### 3.1 Pořízení záznamu

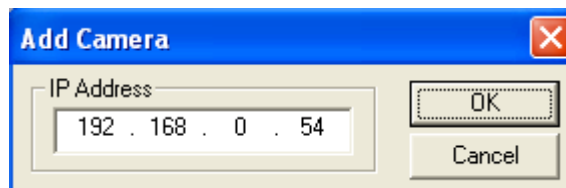
a) Kliknout na záložku Acquire.



Obr. 19. Záložka Acquire

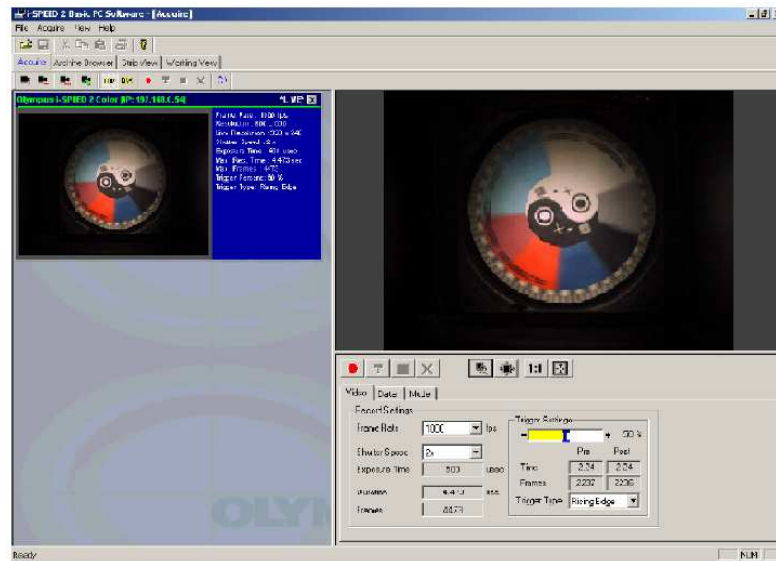
b) Kliknout na ikonu Add a Camera.

V následujícím okně se zadá IP adresa kamery, která je přidána k síti. IP adresa se najde v menu Feature setup na RCP.



Obr. 20. Okno Add a Camera

V levém sloupci okna Acquire se zobrazí seznam otevřených kamer.



Obr. 21. Okno zobrazující seznam otevřených kamer

c) Jednotlivé kamery se zvýrazní a zadají se parametry záznamu v ovládacím panelu. Patří zde následující parametry.

Tab. 7. Zadávané parametry v panelu Acquire/Video

Video	
Frame Rate	Počet snímků za sekundu
Shutter speed	Čas závěrky
Trigger settings	Pozice spuštění
Trigger type	Typ spuštění

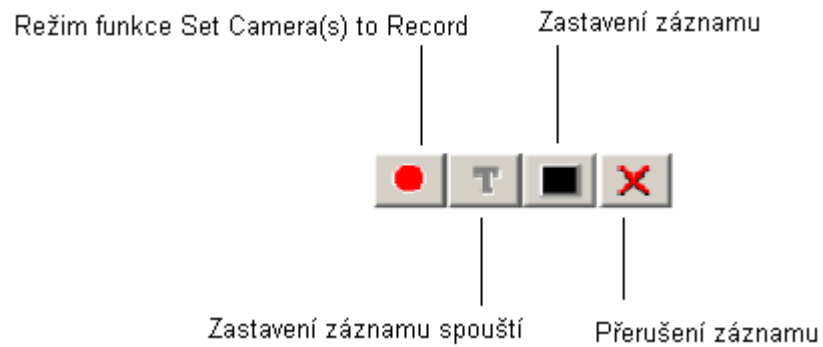
Tab. 8. Zadávané parametry v panelu Acquire/Data

Data	
Data Source (kamera or External DAQ)	Zdroj dat (kamera nebo externí blok)
Symplex per frame	Počet snímků za sekundu

Tab. 9. Zadávané parametry v panelu Acquire/Mode

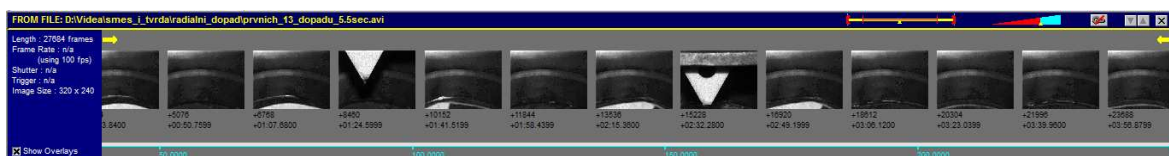
Režim	
BROC Mode	Burst record on command(BROC)
ROC Mode	Record on command (ROC)
Time lapse	Time lapse
Economy mode	Úsporný režim
Part active area	Změna úhlu pohledu

d) Kliknout na ikonu Set Camera(s) to Record.



Obr. 22. Set Camera(s) to Record

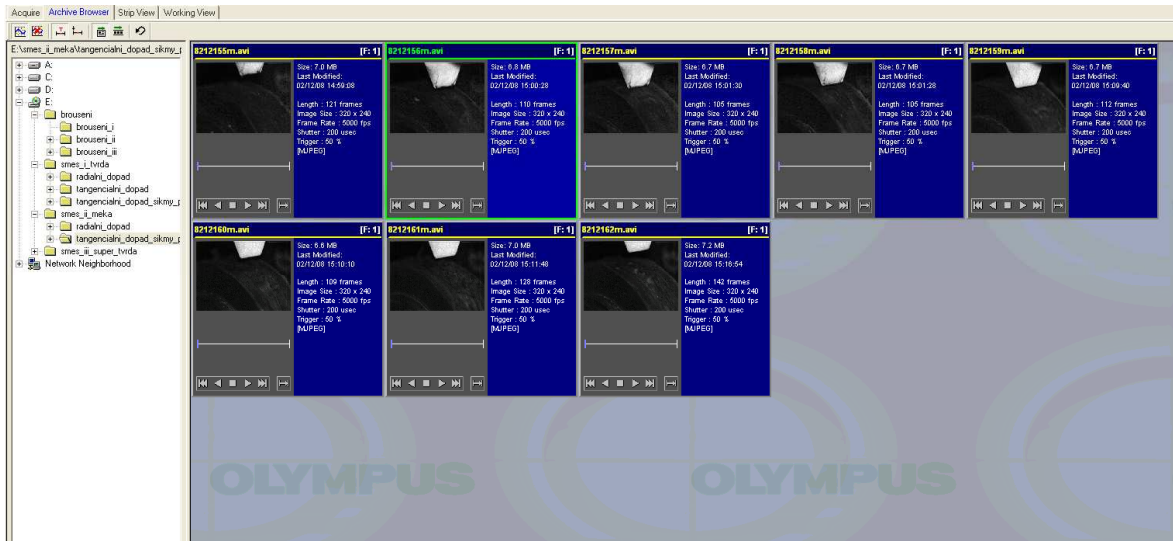
e) Až bude vše připraveno, klikne se na ikonu Trigger Stop a Recording (pokud je k dispozici), v opačném případě se použije hardwarová spoušť. Software i-SPEED PC spustí kameru podle pokynů ke spuštění nastavených na záložce video. Po skončení záznamu se záznam otevře v okně Strip.



Obr. 23. Okno Strip

## 3.2 Otevření uložených obrazů a dat

- Vybrat záložku Archive Browser.
- Na levé straně ve stromové struktuře adresářů se vyberou potřebná data.



Obr. 24. Seznam uložených souborů

- Pomocí levého tlačítka myši nebo pomocí pravého tlačítka a volby Open within Strip View se načtou vybrané data.

## 3.3 Stažení a navigace v okně Strip

- Vybere se region v němž se udála událost, která nás zajímá. Klikne se levým tlačítkem myši nalevo od události a přetáhne kurzor přes pruh, čímž se zvýrazní čas události.
- Pravým tlačítkem myši se klikne do zvýrazněné oblasti, vybere se volba Download Selected Images Now nebo jen stiskne klávesa Enter. V okně Strip se automaticky zvětší a vycentruje obsah vybraného regionu. [1]
- Výběr regionu se doladí pomocí nástrojů Zoom a Pan v okně Strip.



Obr. 25. Nástroje Pan a Zoom



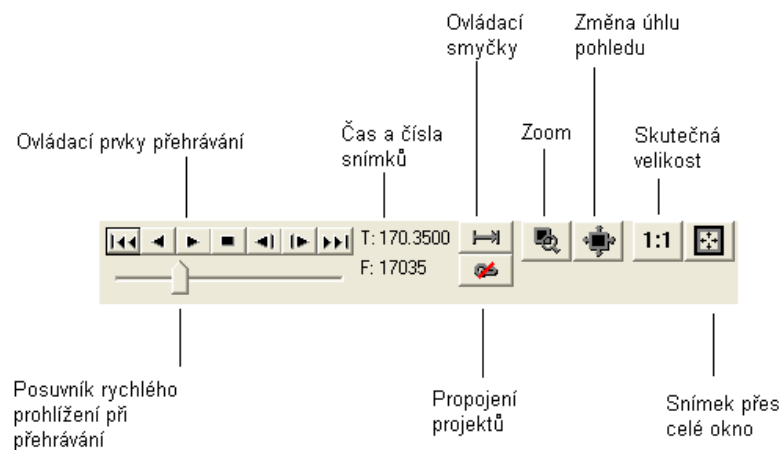
d) Po zarámování regionu který nás zajímá, se nastaví volba Range. Klikne se na video pravým tlačítkem myši a vybere se volba Set Range nebo jen se stiskne mezerník.

e) Poté co se vybrala událost, která nás zajímá a je zarámovaná časově, se obraz přesune do okna Working. Klikne se do okna Strip pravým tlačítkem a vybere se volba Strip Functions, pak se vybere volba Open in Working View nebo se klikne levým tlačítkem myši do okna. [1]

### 3.4 Přehrávání v okně Working

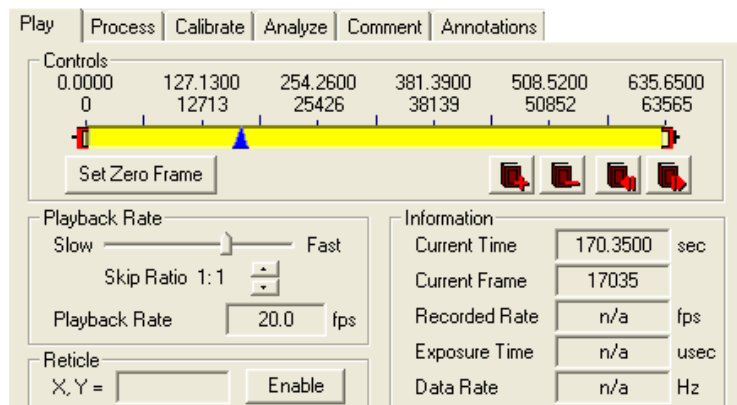
- snímek se zobrazí v okně Working.

a) Data je možno si prohlédnout pomocí navigačních nástrojů v ovládacím panelu



Obr. 26. Ovládací panel

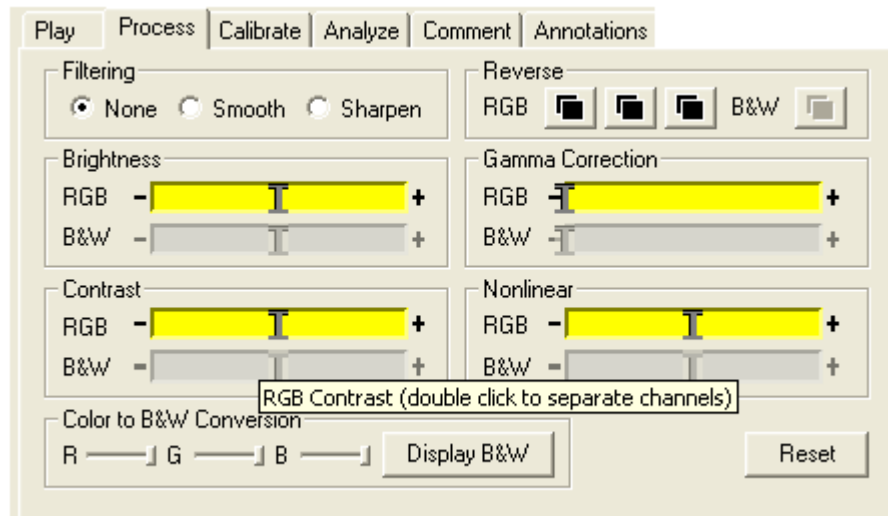
b) Záložka Play



Obr. 27. Záložka Play

Pomocí záložkových funkcí lze zde nastavit i více záložek.

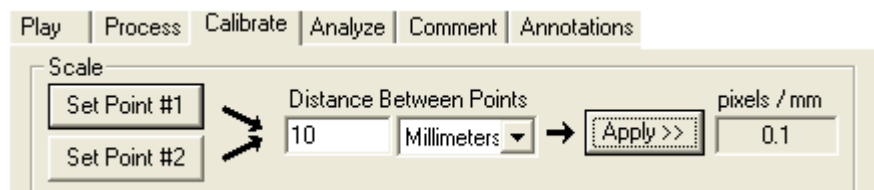
### c) Záložka Process



Obr. 28. Záložka Process

Pomocí posuvníků Brightness, Contrast, Gamma a Nonlinear se upraví vzhled obrazu, dokud nejsou rysy, které nás zajímají, co nejvíce zvýrazněny (např. bílé na černém pozadí). Vzhled obrazu se dá zároveň vylepšit i funkcemi Smooth a Sharpen. [1]

### d) Záložka Calibrate

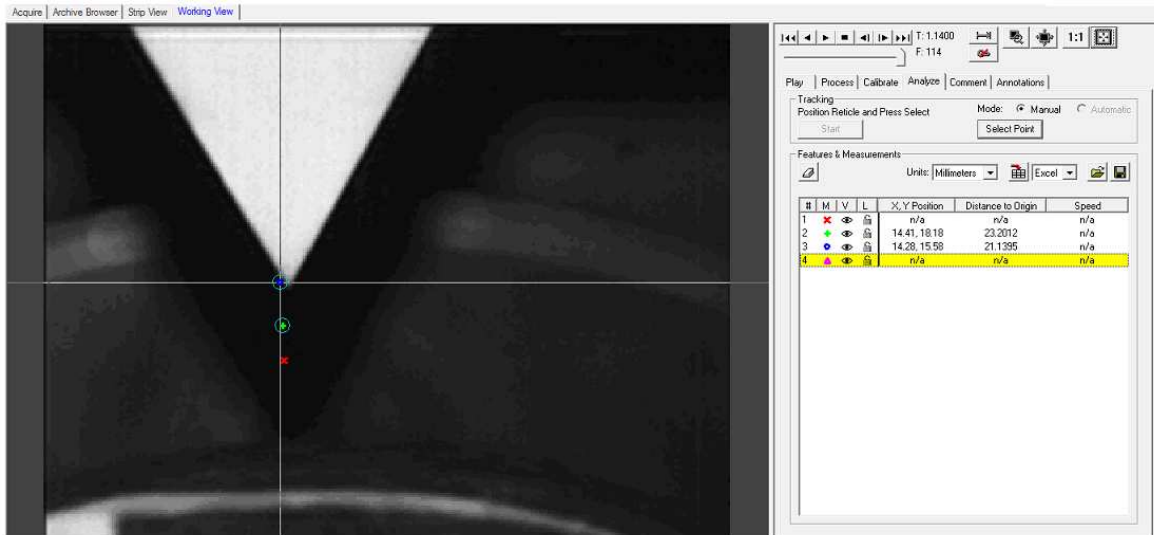


Obr. 29. Záložka Calibrate

Na videu se najde charakteristický rys se známými rozměry. Poté se klikne matnicí na jedné straně od tohoto rysu. Dále se klikne na tlačítko Set Point #1. Klikne se matnicí na druhé straně od známého rysu a klikne na tlačítko Set Point #2. Poté se zadá vzdálenost mezi těmito označenými body s patřičnou délkovou jednotkou. Nakonec se klikne na tlačítko Apply. [1]

### e) Záložka Analyze

Kliknutím na tlačítko Start se aktivuje funkce analýza. Kurzorem se klikne na bod, který nás zajímá a potvrdí se ikonou Select point.

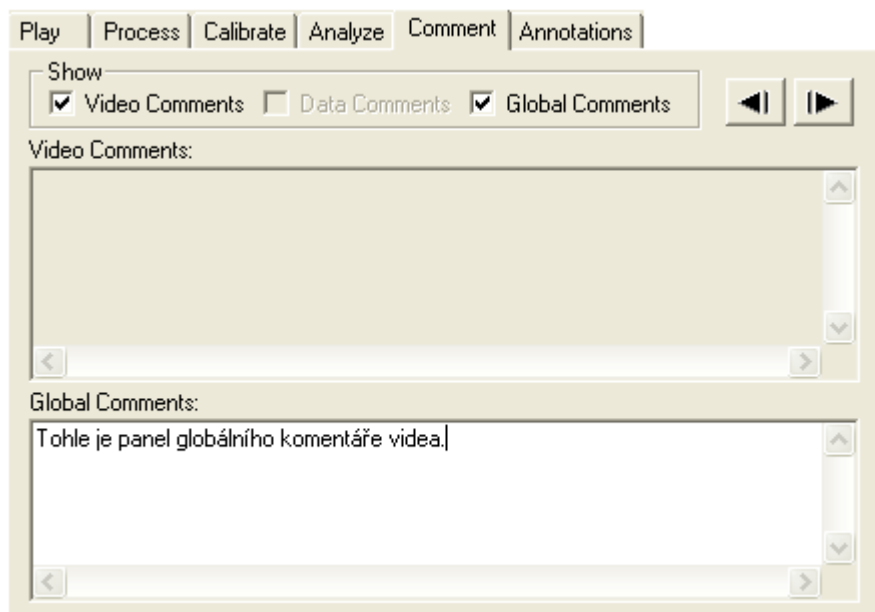


Obr. 30. Záložka Analyze

Analýzy pohybu se dají exportovat pomocí ikony Export track points buď do textového dokumentu nebo do Excelu.

### f) Záložka Comment

V téhle záložce si může uživatel přidat poznámky k jednotlivým snímkům video sekvence.



Obr. 31. Záložka Comment

**g) Záložka Annotations**

Pomocí této záložky lze ve snímaném ději změřit vzdálenost a úhel.



Obr. 32. Záložka Annotations

## 4 REFERENCE K ZABUDOVANÉMU SOFTWARE (RCP)

Tento bod diplomové práce popisuje software zabudovaný do kamery a jeho uživatelské rozhraní z hlediska jednotky RCP.

### Ovládání menu jednotky RCP:

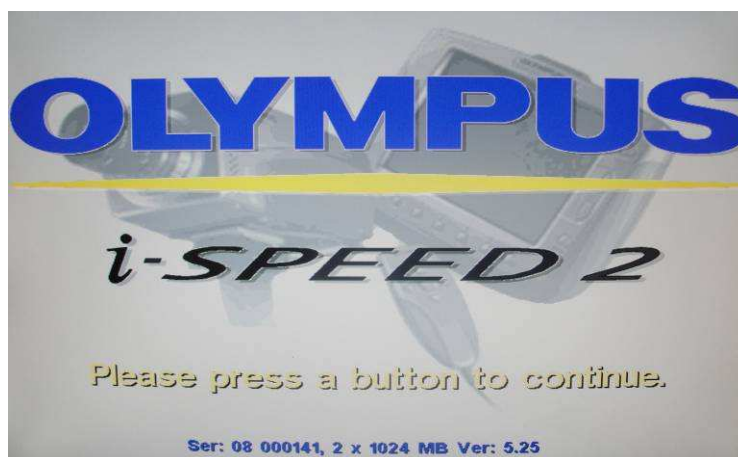
Ovládací menu v softwaru jednotky RCP se vyvolávají stiskem tlačítka MENU/ENT na jednotce RCP.

Tlačítka S, T, W, X slouží k pohybu v obrazovkách menu a zvýraznění různých možností, při výběru určité možnosti je uživatel ikonou vyzván ke stisku tlačítka MENU/ENT k potvrzení výběru, stiskem tlačítka BACK se může výběr zrušit nebo se lze vrátit do menu vyšší úrovně. [1]

### 4.1 Obrazovky menu

#### 4.1.1 Úvodní obrazovka Olympus i-SPEED

Při spuštění kamery se zobrazí tahle obrazovka. Uvádí údaje o paměti kamery, výrobní číslo kamery a číslo verze softwaru. Obrazovka zmizí po stisknutí libovolného tlačítka na jednotce RCP. [1]



Obr. 33. Úvodní obrazovka Olympus i-SPEED

#### 4.1.2 Hlavní menu i-SPEED

Tahle obrazovka představuje nejvyšší úroveň jednotky RCP, která umožňuje rychlý přístup k nejčastěji používaným funkcím. Lze jí vyvolat opakovaným stiskem tlačítka Back z libovolného místa systému menu.

Na spodním okraji obrazovky se zobrazuje aktuální snímkový kmitočet, shutter a zoom. Tyhle funkce se dají rychle měnit pomocí navigačních tlačítek na jednotce RCP. [1]

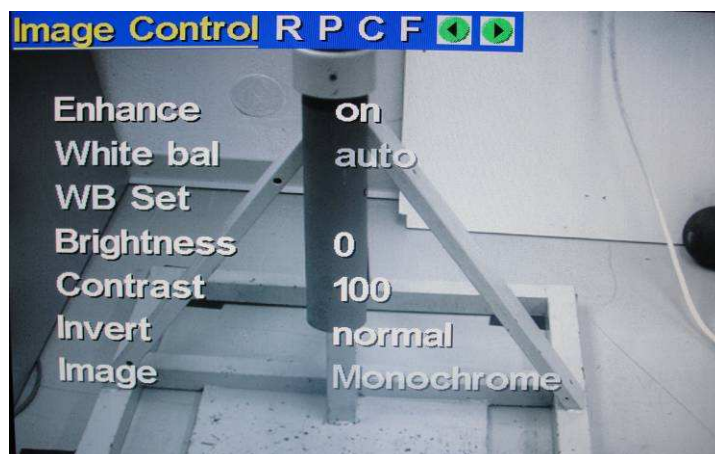


Obr. 34. Hlavní menu i-SPEED

#### 4.1.3 Menu ovládání obrazu i-SPEED

Toto obrazovkové menu nabízí prvky vylepšení obrazu a vyvážení bílé.

System Olympus i-SPEED dokáže digitálně vylepšit obraz na obrazovce. Toto vylepšení je založeno na dvoupólové detekci hran ve dvou směrech a má fázi pečlivě sladěnou s video-signálem. [1]



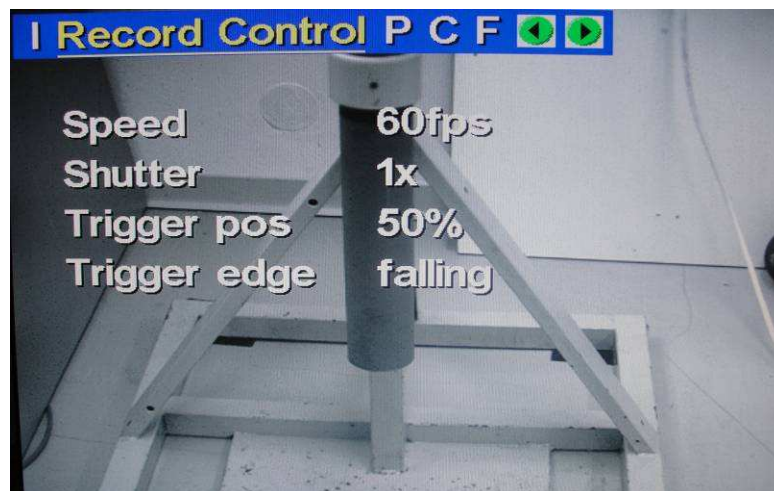
Obr. 35. Menu ovládání obrazu i-SPEED

#### 4.1.4 Menu ovládání záznamu i-SPEED

V tomto menu se prostřednictvím jednotky RCP nastavuje snímkový kmitočet, shutter a spoušť.

Ovládání polohy spouště umožňuje nastavit prodlevu spouště, tj. dostat bod stisku spouště do uživatelem požadovaného místa výsledné videosekvence. Při nastavení prodlevy spouště na 0 % se nastaví prodleva spouště odpovídající délce záznamu, který se vejde do paměti kamery a bod stisku spouště bude na začátku výsledné videosekvence. Prodlevu spouště lze nastavit libovolně v rozmezí 0-100 %.

Ovládání hrany spouště umožňuje nastavit, zda má systém detekce hrany signálu spouště čekat na náběžnou nebo sestupnou hranu. [1]



Obr. 36. Menu ovládání záznamu i-SPEED

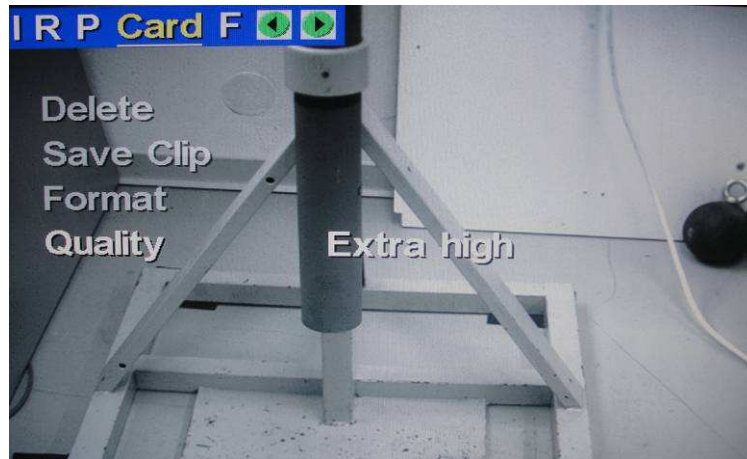
#### 4.1.5 Menu přehrávání i-SPEED

Tohle menu je k dispozici až po provedení záznamu a nabízí všechny položky související s přehráváním zaznamenaného obrazu kamerou. Automaticky se zobrazí po zastavení záznamu, a zobrazí přehrávaný obraz.

Možnými funkcemi nastavení rychlosti, ovládání zoomu, přehráváním po jednotlivých snímcích lze ovládat přehrávání nasnímaného záznamu. [1]

#### 4.1.6 Menu karty i-SPEED

Tohle menu nabízí všechny položky související se správou výměnné paměťové karty PCMCIA ve formátu ATA nebo Compact Flash.



Obr. 37. Menu karty i-SPEED

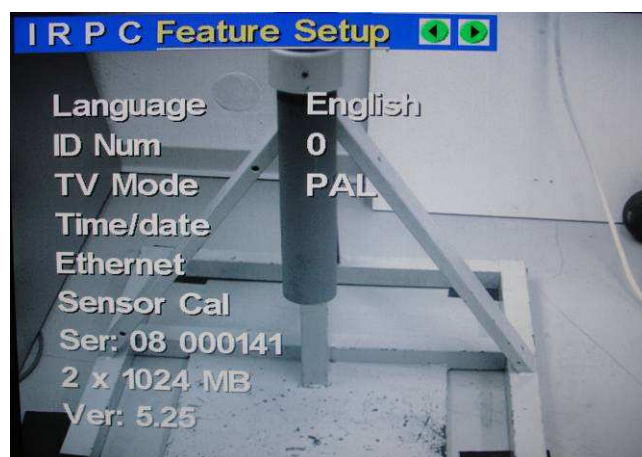
Po výběru položky Uložit záznam se zobrazí obrazovka záznamu. Pomocí tlačítek W a X se posouvá po stavovém pruhu zleva na první snímek, který je zapotřebí uložit. Pomocí tlačítek S a T se posouvá po stavovém pruhu napravo na poslední snímek, který má být uložen. Stiskem tlačítka MENU/ENT se záznam uloží. [1]

Funkce mazání umožňuje smazání vybraného souboru z karty.

Funkcí formátování lze kartu zformátovat a tím vymazat veškerá uložená data na kartě.

#### 4.1.7 Menu nastavení funkcí i-SPEED

Toto menu obsahuje všechny položky související s konfigurací kamery.



Obr. 38. Menu nastavení funkcí i-SPEED

Lze zde nastavit jazyk, uživatelské nastavení ID, ovládání TV monitoru, nastavení čas/data, menu ethernet, ovládání kalibrace snímače.



## 5 RÁZOVÉ ZKOUŠKY PÁDEM

Tuto zkoušku popisuje norma ČSN EN ISO 6603 - Stanovení chování tuhých plastů při víceosém rázovém namáhání.

Metody padajícího tlouku spočívají v zatížení vzorku padajícím tloukem, působícím kolmo k rovině zkušební tělesa. [3]

### 5.1 Termíny a definice

- Porušení (failure): každý lom, který je možno pozorovat prostým okem.
- Trhlina (crack): každá prasklina, kterou je možno pozorovat prostým okem a která neprostupuje celou tloušťkou zkušební tělesa.
- Lom (break): každá prasklina prostupující celou tloušťkou zkušební tělesa.
- Průraz (penetration): porušení, při kterém tlouk pronikne celou tloušťkou plasticky deformovaného zkušební tělesa.
- Roztříštění (shattering): rozlomení zkušební tělesa na dvě nebo více částí. [3]

### 5.2 Podstata zkoušky

Rázová houževnatost jako odolnost zkušební tělesa vhodných rozměrů proti porušení se stanoví nárazem tlouku o známé hmotnosti, přičemž tlouk padá volným pádem ze známé výšky. Tlouk dopadá do středu zkušební tělesa, kolmo k jeho povrchu. [3]

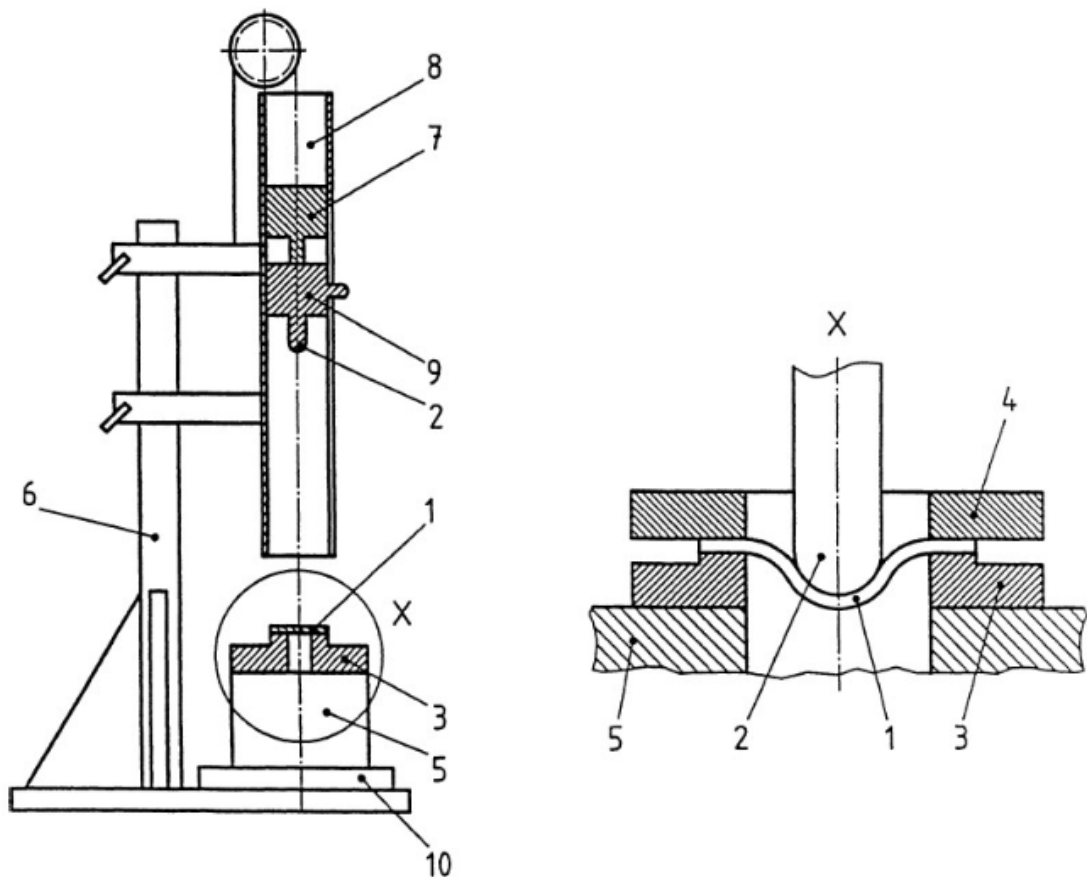
Povolují se dva způsoby nastavení energie při rázu: změnou hmotnosti tlouku při konstantní výšce pádu nebo změnou výšky pádu při konstantní hmotnosti tlouku. [3]

### 5.3 Zkušební přístroj

Hlavní součásti zkušební zařízení jsou:

- nosič energie typu setrvačné hmotnosti (systém padajícího tlouku), který se skládá ze: závaží, tlouku,
- podpěry pro zkušební těleso.

Zkušební zařízení musí umožnit, aby na zkušební těleso dopadl tlouk do jeho středu, kolmo k povrchu zkušební tělesa. [3]



Obr. 39. Schéma zkušebního zařízení-padostroj [3]

**Legenda:**

- |                                 |                                            |
|---------------------------------|--------------------------------------------|
| 1 - zkušební těleso             | 6 - držák tlouku                           |
| 2 - polokulová nárazová plocha  | 7 - systém pro přidržení a uvolnění tlouku |
| 3 - podpěra pro zkušební těleso | 8 - vodící lišta tlouku o známé hmotnosti  |
| 4 - upínací kroužek (volitelný) | 9 - tlouk o známé hmotnosti                |
| 5 - základna                    | 10 - akustická izolace (volitelná)         |

**5.4 Postup zkoušky**

Zkušební těleso se umístí na podpěrný kroužek a dle potřeby se upne v dané poloze. K tlouku se pevně připevní potřebná závaží. Systém tlouku se nastaví do polohy v předepsané výšce podle zvolené metody a uvolní se. Na zkušebním tělese se zjistí, zda došlo k jeho porušení. [3]

## 5.5 Parametry zkoušky

Dopadová energie:

$$E = m \cdot g \cdot h \quad [\text{J}] \quad (1)$$

Rychlost pádu tělesa z dané výšky h:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \quad [\text{m} \cdot \text{s}^{-1}] \quad (2)$$

Legenda:

m - hmotnost tlouku (kg)

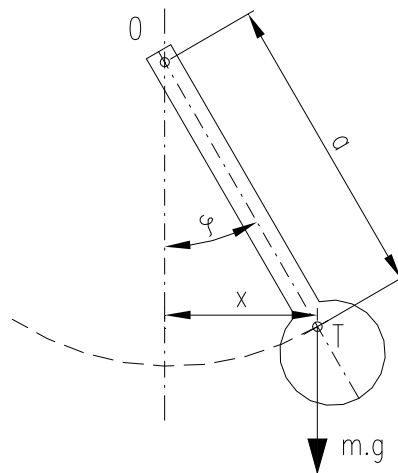
g - gravitační zrychlení ( $\text{m} \cdot \text{s}^{-2}$ )

h - výška, ze které je spouštěn tlouk (m)

## 6 KYVADLO

Fyzikální kyvadlo je těleso otočné bez tření kolem vodorovné osy neprocházející těžištěm. Těleso je v rovnováze, je-li těžiště T v nejnižší poloze, tj. leží-li na svislici protínající osu. Je-li  $\varphi$  okamžitá úhlová výchylka těžiště z rovnovážné polohy,  $m \cdot g$  váha kyvadla, která se myslí soustředěna v těžišti, a vzdálenost těžiště od osy, působí na kyvadlo moment: [19]

$$M = -m \cdot g \cdot a \cdot \sin \varphi \quad (3)$$



Obr. 40. Fyzikální kyvadlo

Moment tu působí proti výchylce a snaží se přivést kyvadlo zpět do rovnovážné polohy (proto se označuje záporným znaménkem). Kyvadlo koná rotační pohyb kolem pevné osy, takže platí pohybová rovnice: [19]

$$M = J \cdot \varepsilon = J \cdot \frac{d^2 \varphi}{dt^2} = -m \cdot g \cdot a \cdot \sin \varphi \quad (4)$$

Největší možný moment  $K = m \cdot g \cdot a$  se nazývá direkčním momentem.

Po úpravě se dostane diferenciální rovnice pro fyzikální kyvadlo:

$$\frac{d^2 \varphi}{dt^2} + \frac{m \cdot g \cdot a}{J} \sin \varphi = 0 \quad (5)$$

Pro malé výchylky z rovnovážné polohy lze přibližně položit  $\sin \varphi \approx \varphi$  a napíše-li se:

$$\frac{m \cdot g \cdot a}{J} = \omega^2 \quad (6)$$

kde  $\omega =$ konstanta, dostane se rovnice:

$$\frac{d^2\varphi}{dt^2} + \omega^2 \cdot \sin \varphi = 0 \quad (7)$$

kteřá je totožná s diferenciální rovnicí harmonického pohybu, v níž  $\omega^2$  je čtverec kruhové frekvence. [19]

Při velmi malých výchylkách kyvadla z rovnovážné polohy přejde tedy pohybová rovnice (5) v diferenciální rovnici harmonického pohybu (7). Označí-li se  $T_0$  jako doba kmitu (perioda) při nahrazení kmitavého pohybu kyvadla pohybem harmonickým, tak  $T_0$  se bude rovnat: [19]

$$T_0 = \frac{2 \cdot \pi}{\omega} = 2 \cdot \pi \cdot \sqrt{\frac{J}{m \cdot g \cdot a}} = 2 \cdot \pi \cdot \frac{R}{\sqrt{g \cdot a}} \quad (8)$$

Při velmi malých výchylkách kyvadla z rovnovážné polohy nezávisí doba kmitu na výkyvu  $\varphi_m$  (tj. na maximální výchylce z rovnovážné polohy). [19]

Doba kyvu se nazývá polovina doby kmitu:

$$\tau_0 = \frac{T_0}{2} = \pi \cdot \sqrt{\frac{J}{m \cdot g \cdot a}} = \pi \cdot \frac{R}{\sqrt{g \cdot a}} \quad (9)$$

Je to doba, kterou potřebuje těleso k pohybu z rovnovážné polohy do krajní výchylky a zpět do rovnovážné polohy.

Chyba vzniklá nahrazením skutečného pohybu kyvadla pohybem harmonickým činí při  $\varphi_m=1^\circ$  asi 0,002 %, při  $\varphi_m=5^\circ$  asi 0,05 %. [19]

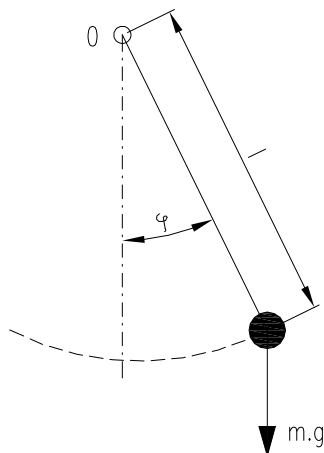
Při větších výkyvech se musí dbát toho, že pohyb kyvadla není přesně harmonický, a dobu kyvu je třeba počítat z rovnice, která plyne z řešení diferenciální rovnice (5):

$$\tau = \tau_0 \left[ 1 + \left(\frac{1}{2}\right)^2 \cdot \sin^2 \frac{\varphi_m}{2} + \left(\frac{1 \cdot 3}{2 \cdot 4}\right)^2 \cdot \sin^4 \frac{\varphi_m}{2} + \dots \right] \quad (10)$$

Matematické kyvadlo je matematickým modelem kyvadla. U matematického kyvadla se zkoumá pouze hmotný bod zavěšený na tenkém vlákně zanedbatelné hmotnosti, zanedbává se odpor vzduchu při pohybu kyvadla i tření v závěsu a gravitační pole se považuje za homogenní. Matematické kyvadlo je mechanický oscilátor, tedy zařízení, které po dodání počáteční energie volně kmitá bez vnějšího působení. [20]

Doba kyvu matematického kyvadla je pak podle (9), dosadí-li se  $a=l$ :

$$\tau_0 = \pi \sqrt{\frac{m \cdot l^2}{m \cdot g \cdot l}} = \pi \cdot \sqrt{\frac{l}{g}} \quad (11)$$



Obr. 41. Matematické kyvadlo

## 7 AUTOSKLO

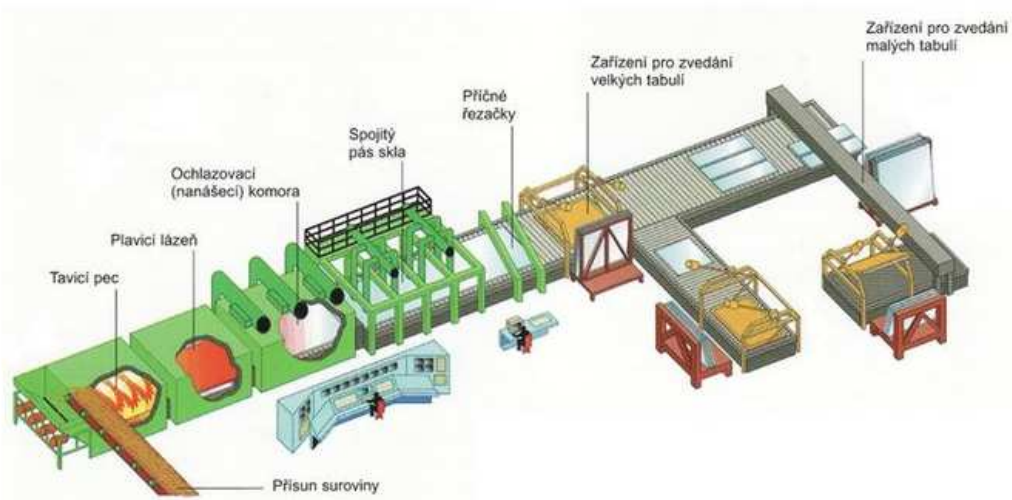
Vývoj autoskel sahá až na samý počátek rozvoje automobilové výroby. Prapůvodní funkcí autoskla bylo zvyšování bezpečnosti a pohodlí cestujících.

### Technologie výroby autoskla

Výroba kvalitního autoskla začíná procesem plavení. Proces plavení skla, vyvinutý v roce 1952 společností PILKINGTON, je nyní světovým standardem pro výrobu vysoce kvalitního skla. Od roku 1952 byl tento proces neustále zdokonalován a díky tomu je v současné době možné vyrobit základní skleněné tabule "FLOAT" v širokém sortimentu od síly skla 0,4 mm až do 25 mm. [11]

### Výroba plovoucího skla probíhá následujícím způsobem:

Přesné množství surovin se roztaví v peci. Roztavený materiál o teplotě kolem 1 000 °C se následně vylévá z pece do lázně roztaveného cínu ve speciální chemické atmosféře, která je pod neustálou kontrolou. Při plavení po cínu se sklo rovnoměrně rozlévá a vytváří hladkou plochu. Tloušťka plaveného skla je vytvořena pomocí rychlosti, s jakou je tuhnuící sklo v pásu vytahováno z lázně. Následuje žíhání (řízené ochlazování), při kterém vznikají vyleštěné tabule skla s tloušťkou od 0,4 mm do 25 mm a šířkou až přes 3 m. [11]



Obr. 42. Výroba plovoucího skla [11]

### Autoskla se dělí do dvou kategorií:

1. Skla vrstvená nebo také laminovaná

Vrstvená skla jsou vysoce bezpečnostní skla, kdy speciální technologií se mezi dvě vrstvy skla vkládá mezivrstva polyvinylbutyralu (PVB). Takto upravené sklo se používá zejména jako čelní bezpečnostní sklo, které v případě rozbití drží díky fólii pohromadě a umožňuje tak bezpečně dojet k nejbližšímu servisu. Vrstvy skla jsou obvykle ohýbány ve dvojicích jako plovoucí sklo za pomoci ohřevu na 620 °C a žádaného tvaru dosáhnou tzv. gravitačním působením do předem připravených forem. Následně jsou pak dvojice skel postupně ochlazovány na 20 °C. Pak se mezi vrstvy skel vloží PVB materiál. Vrstvení dvojic pak pokračuje odsátím veškerého vzduchu z meziprostoru skel. Dále se skla ve speciálním zařízení zahřejí na teplotu 140 °C a vystaví se tlaku 10 až 16 kg/cm<sup>2</sup> na obě vrstvy. [11]

## 2. Skla tepelně-tvrzená (kalená)

Tvrzené sklo se nejčastěji používá pro zadní a boční skla automobilů. Velkou předností tvrzeného skla je jeho velmi vysoká pevnost oproti obyčejnému sklu používanému například v domácnosti. V případě kolize automobilů se tvrzené sklo roztříští na velmi malé částičky, které snižují nebezpečí poranění posádky. Tvrzení skla probíhá za pomoci řízeného ohřevu na velmi vysoké teploty (až 700 °C) a následným dílčím ochlazováním. [11]

### **Bezpečnostní autofólie**

Bezpečnostní autofólie slouží jako pasivní a aktivní ochrana automobilu a posádky automobilu. Jedná se o čiré, případně natónované autofólie, které se lepí na vnitřní stranu bočních skel. Tyto fólie jsou vyrobeny z několika vrstev čirého polyesteru. V lepidle autofólie je obsažen inhibitor UV záření, čímž je chráněna nejen autofólie, ale i posádka před tímto zářením. [18]

#### *Hlavní výhody bezpečnostních fólií:*

- zabezpečení skla proti průrazu a tím zabránění vniknutí přes sklo do vozidla. Toto zabezpečení skel je výhodné především proti tzv. rychlým zlodějům, kteří přes rozbité sklo odcizí jakékoliv předměty ve vozidle. Toto se děje především na parkovištích, kde díky značné anonymitě a rychlosti rozbití skla vybízí zloděje k loupeži.
- ochrana posádky před střepy při případné havárii.

Cena aplikace bezpečnostních autofólií je odvislá od typu vozu, na který se autofólie aplikuje. Celková cena za aplikaci bezpečnostní autofólie na boční skla vozu je od 3 000 Kč.



## **II. PRAKTICKÁ ČÁST**

## 8 KONSTRUKCE CRASHOVACÍHO ZAŘÍZENÍ

Při zadání diplomové práce byl požadavek ke zdokonalení konstrukce crashovacího zařízení. Zdokonalení konstrukce se týká toho, aby na zařízení, které je umístěno v metrologické laboratoři na ústavu fakulty, bylo umožněno snadné vytažení tlouku na požadovanou výšku a zároveň zajištění této polohy. Zároveň je požadavek aby na crashovacím zařízení bylo schopno testovat boční autoskla.



Obr. 43. Crashovací zařízení

### **Parametry crashovacího zařízení:**

Maximální hmotnost tlouku: 2,5 kg

Maximální spouštěcí výška: 1,7 m

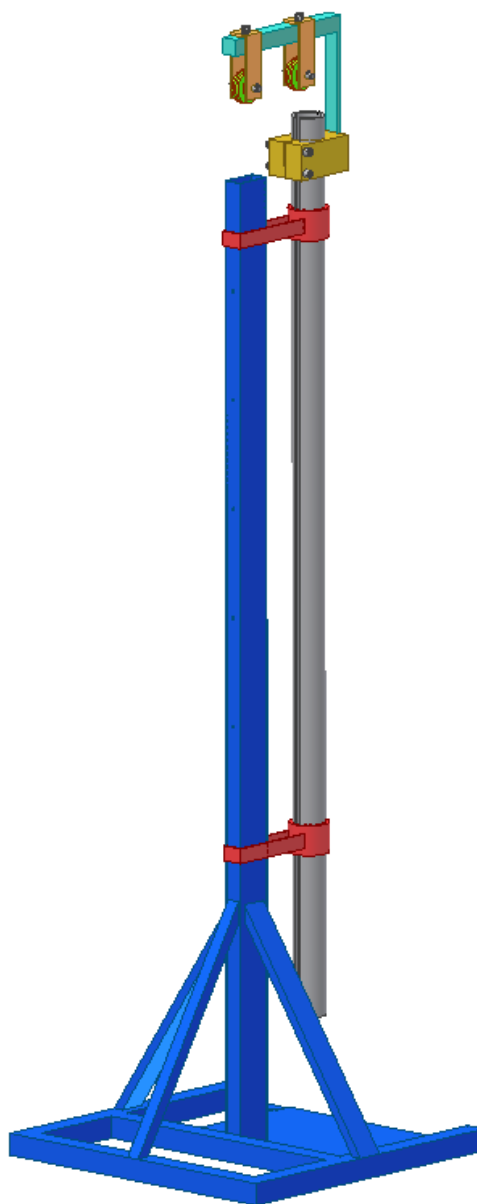
Testovací rychlost do:  $5,77 \text{ m}\cdot\text{s}^{-1}$

Maximální dopadová energie: 41,69 J

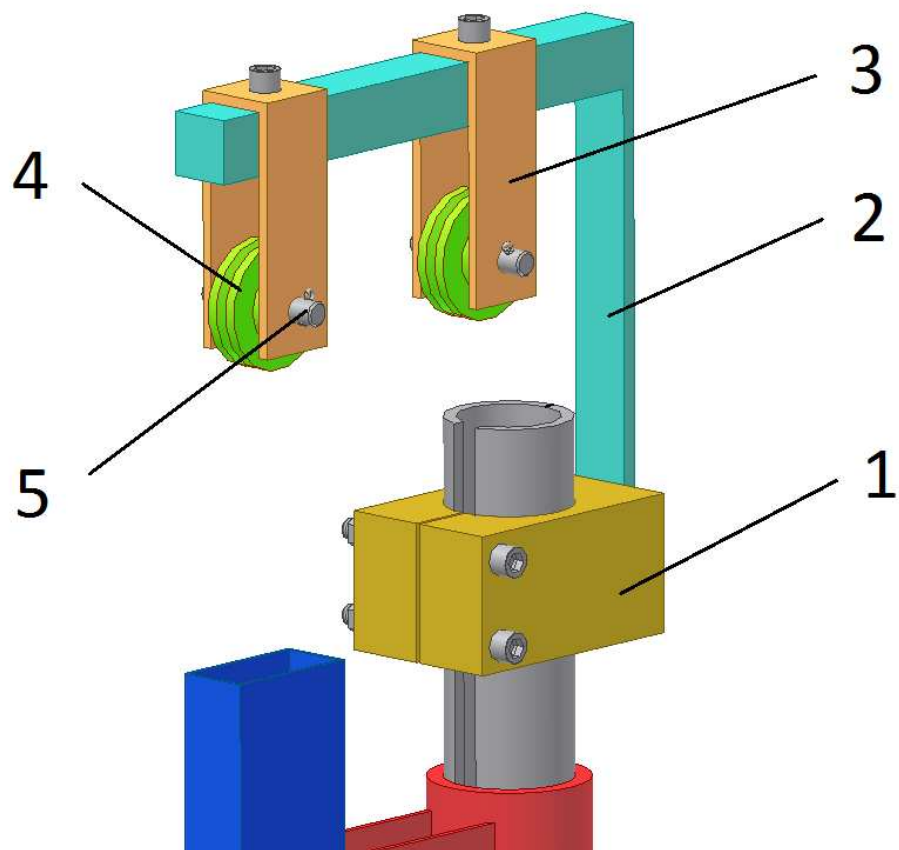
Byly navrženy 2 varianty. Obě varianty byly vymodelovány ve 3D programu Autodesk Inventor.

### 8.1 Návrh varianty A

Konstrukce k vedení ocelového lana je připevněna k vodící trubce pomocí kostky (1) se svěrným spojem, který je zajištěn dvěma šrouby. Ke kostce jsou pomocí nosníku (2) a dvou držáků (3) zavěšeny dvě vodící kladky (4), které se otáčejí na čepech (5) zajištěných závlačkami. Osa vodícího lana je vedena osou vodící trubky.



Obr. 44. Návrh varianty A



Obr. 45. Detail konstrukce varianty A

**Legenda:**

1 - Kostka se svěrným spojem

2 - Nosník

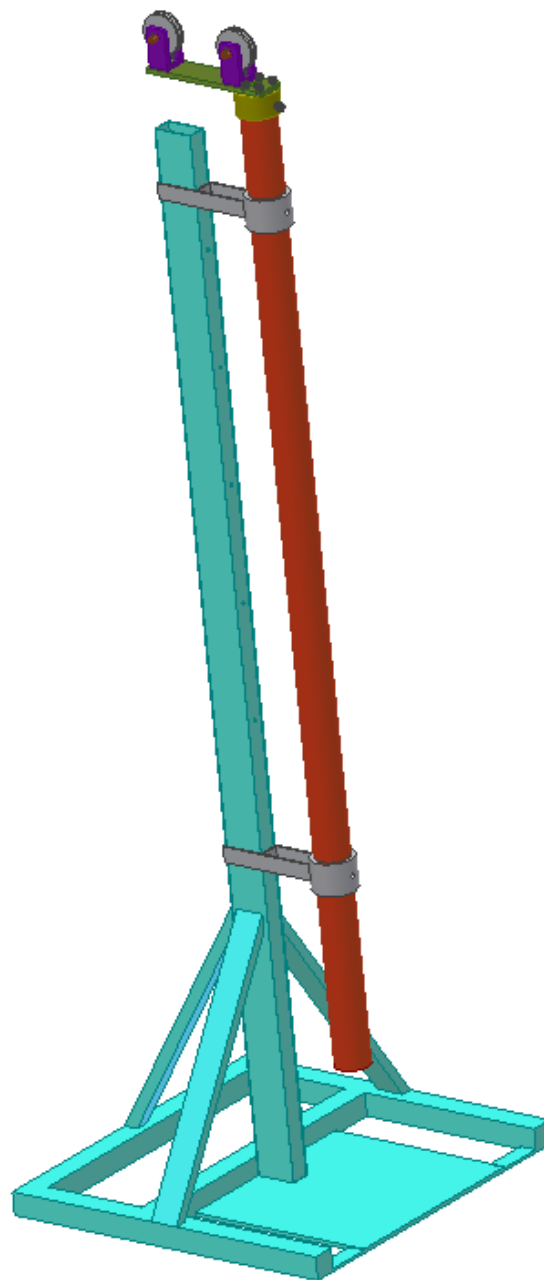
3 - Držák

4 - Kladka

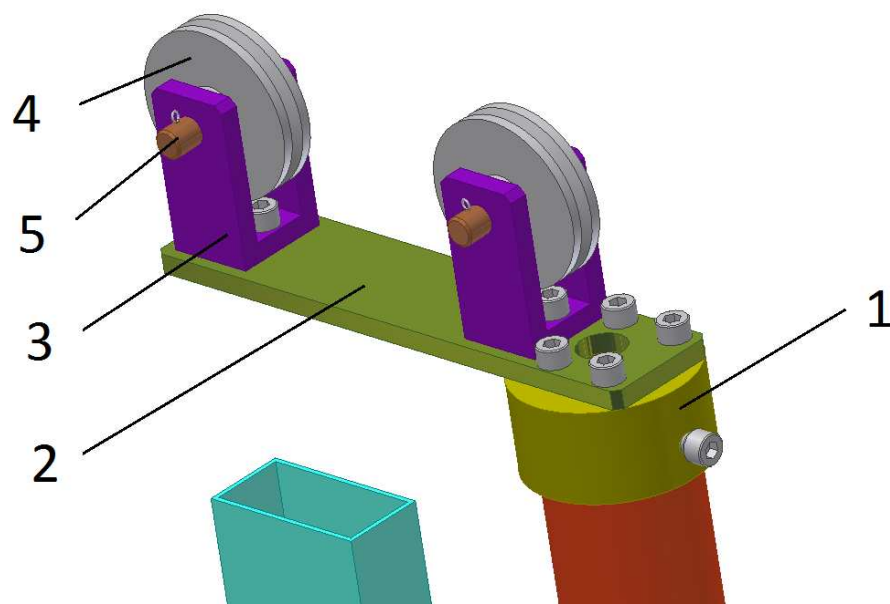
5 - Čep

## 8.2 Návrh varianty B

Konstrukce k vedení ocelového lana je k vodící trubce připevněna pomocí objímky (1), která je zajištěna proti možnému otočení šroubem. K objímce je přišroubována deska (2), na které jsou umístěny držáky, ve kterých jsou umístěny vodící kladky (4). Vodící kladky se otáčejí na čepech (5), které jsou zajištěny závlačkami. Osa vodícího lana je v ose vodící trubky.



Obr. 46. Návrh varianty B



Obr. 47. Detail konstrukce varianty B

**Legenda:**

1 - Objímka

2 - Deska

3 - Držák

4 - Kladka

5 - Čep



Obr. 48. Otočení konstrukce o 180°

Výhodou varianty B je možnost snadného otočení konstrukce (obr. 48), což se dá využít při zkouškách větších předmětů (tato možnost otočení se výborně osvědčila při testování autoskla, kdy se tímto umožnilo nasměrovat tlouk do středu autoskla). V tomto případě tlouk padá volným pádem mimo vodící trubku. Kvůli tomuto možnému otočení konstrukce musely být na objímku přidány 2 šrouby, jelikož kvůli drážce ve vodící trubce nebylo schopno objímku připevnit k trubce.

Varianta B je zároveň jednodušší i z hlediska pracnosti na výrobu, protože u varianty A bylo nutné svařovat profil nosníku, tudíž i z hlediska ekonomického se jeví varianta B jako výhodnější.

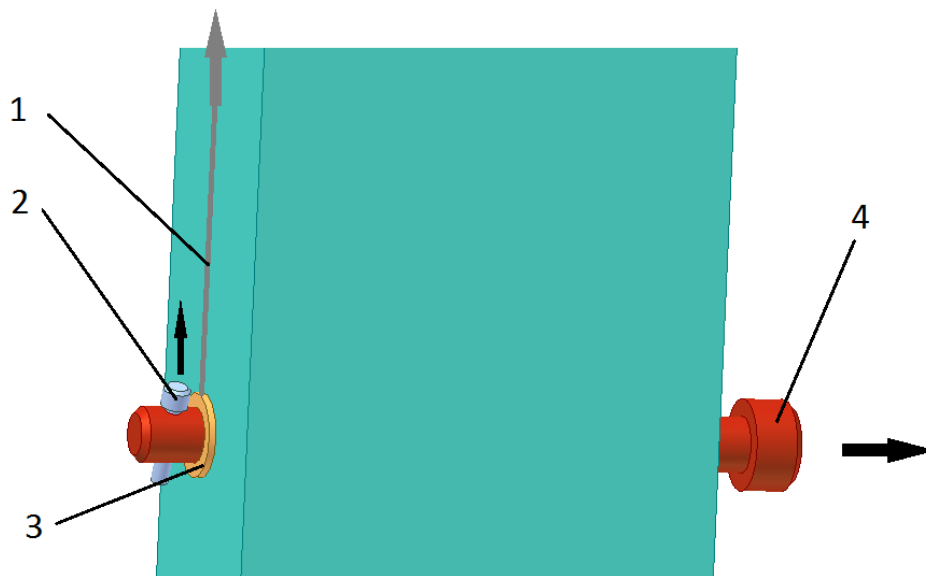
Kvůli uvedeným aspektům jsem zvolil navrženou variantu B jako výhodnější, tudíž byla zadána k výrobě.

Výrobní výkresy a výkres sestavy (vytvořeny v programu AutoCAD 2005) vyráběné varianty B jsou uvedeny v příloze diplomové práce.



Obr. 49. Vyrobená konstrukce

### 8.3 Zajištění polohy tlouku



Obr. 50. Zajištění polohy tlouku

#### Legenda:

1 - Vodící lano

2 - Čep 2

3 - Kroužek

4 - Čep 1

Zajištění polohy je řešeno tak, že ve stojanu crashovacího zařízení jsou vyvrtány otvory, do kterých se zasune čep (4), na který se nasune kroužek (3), který je připojen ke konci vodícího lana (1). Zajištění proti možnému předčasnému uvolnění je pomocí čepu (2).

Spuštění tlouku se provede odjištěním čepu (2) a poté čepu (1).





Obr. 51. Crashovací zařízení s navrženou konstrukcí

## 9 MĚŘENÍ

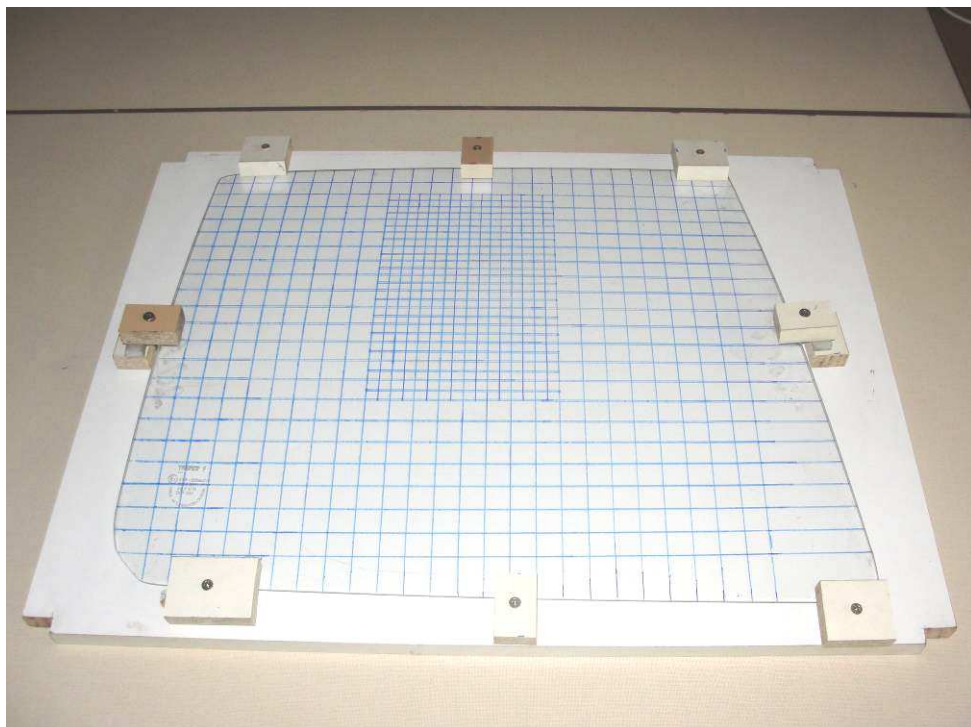
Měření bylo provedeno na 3 vzorcích autoskel, kdy cílem bylo roztržít tyto vzorky a pomocí vysokorychlostního kamerového systému Olympus i-SPEED 2 nasnímat tyto děje.

Nejdříve bylo provedeno laboratorní měření na vylepšeném crashovacím zařízení, kde jako vzorek bylo použito boční autosklo z automobilu Favorit, a poté kvůli porovnání chování autoskla při roztržení provedena zkouška v terénu pomocí kyvadlové zkoušky. Při praktické zkoušce v terénu byla zkouška provedena na autosklech z automobilu Ford Mondeo, kdy jeden vzorek byl opatřen bezpečnostní fólií.

### 9.1 Tepelně-tvrzené sklo (laboratorní zkouška)

#### Vzorek

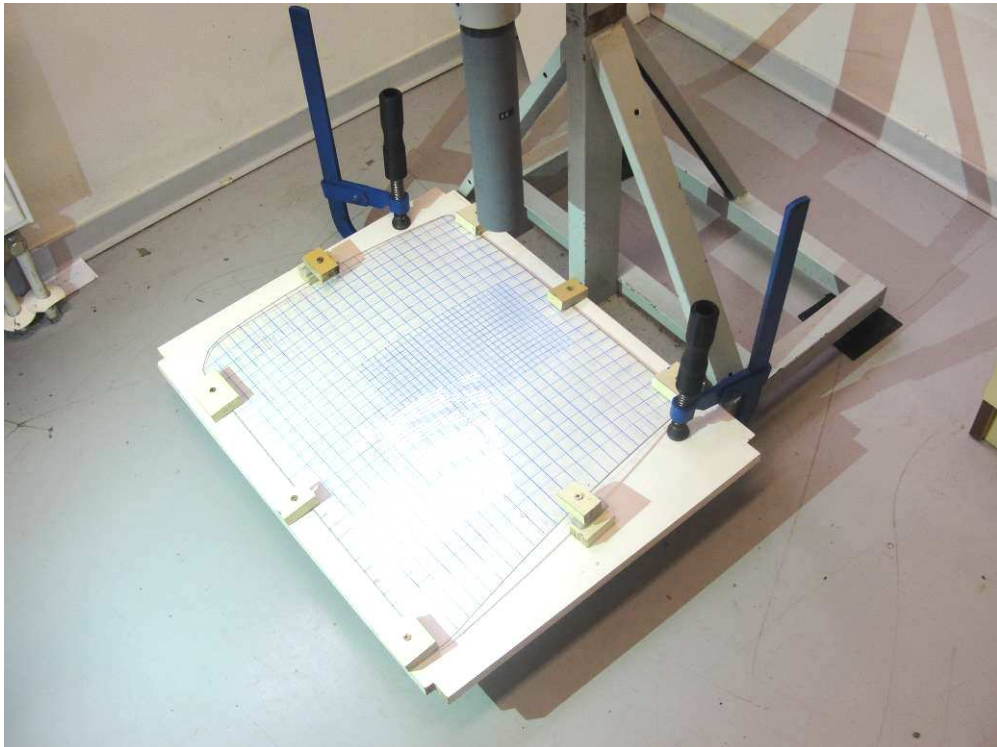
Testovaný vzorek je boční sklo z automobilu Favorit.



Obr. 52. Testovaný vzorek upnutý k dřevěné podložce

Na sklo byla vytvořena čtvercová síť o velikosti čtverce  $20 \times 20$  mm, v místě dopadu pak  $10 \times 10$  mm. Vzorek byl pomocí přišroubovaných dřevěných destiček upnut k dřevěné

podložce. Celá dřevěná podložka pak byla upnuta pomocí svorek ke crashovacímu zařízení.



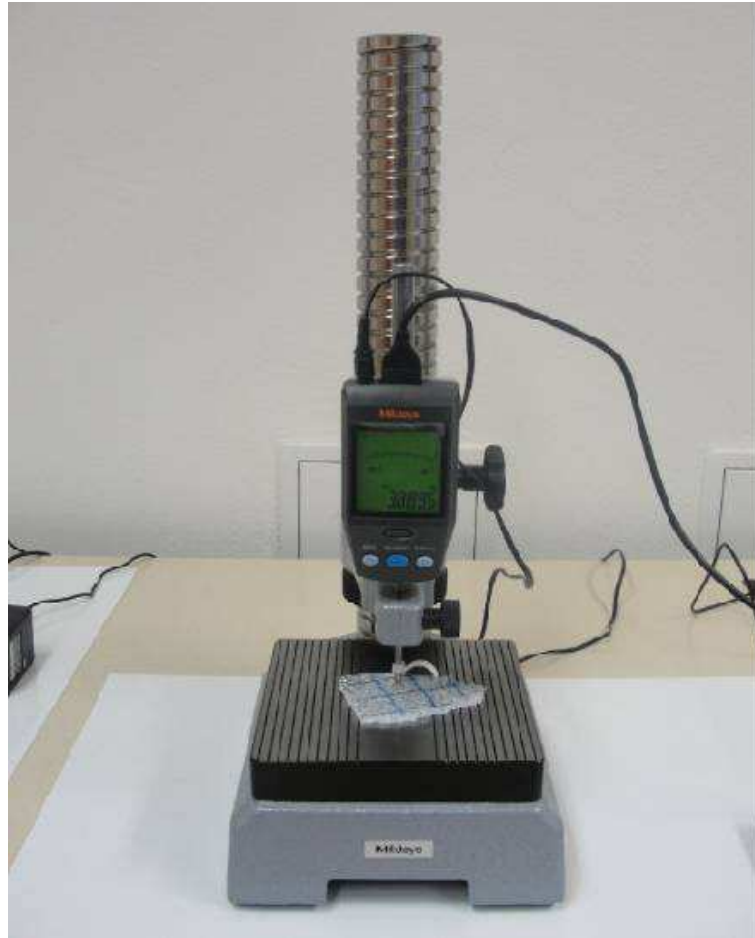
Obr. 53. Upnutý vzorek ke crashovacímu zařízení

### Měření tloušťky autoskla

Zařízení: Výškoměr MITUTOYO

Parametry měřicího zařízení:

- rozsah 0-36 mm
- rozlišitelnost 0,0005 mm
- největší dovolená chyba při 20 °C  $\pm 0,0015$  mm



Obr. 54. Měření tloušťky autoskla na výškoměru

Tab. 10. Naměřené hodnoty tloušťky autoskla - Favorit

číslo měření	naměřená hodnota (mm)	číslo měření	naměřená hodnota (mm)	číslo měření	naměřená hodnota (mm)
1	3,9255	11	3,992	21	3,957
2	3,895	12	4,003	22	3,9495
3	3,9375	13	4,008	23	3,938
4	3,964	14	4,007	24	3,985
5	3,9265	15	3,9815	25	3,9255
6	3,9445	16	3,998	26	3,9925
7	3,9575	17	4,0075	27	3,9735
8	3,9415	18	3,987	28	3,967
9	3,925	19	3,9445	29	3,95
10	3,9705	20	3,896	30	3,922

Výpočet odhadu aritmetického průměru: 
$$\bar{x} = \frac{1}{n} \cdot \sum_{i=1}^n x_i \quad (12)$$

Nejistota měření typu A: 
$$u = \sqrt{\frac{1}{(n-1) \cdot n} \cdot \sum_{x=1}^n (x_i - \bar{x})^2} \quad (13)$$

Tloušťka vzorku: 3,959±0,032 mm.

### Parametry zkoušky

Zkouška byla provedena na crashovacím zařízení s vylepšenou navrženou konstrukcí.

Hmotnost tlouku: 2,5 kg

Spouštěcí výška tlouku: 1,7 m

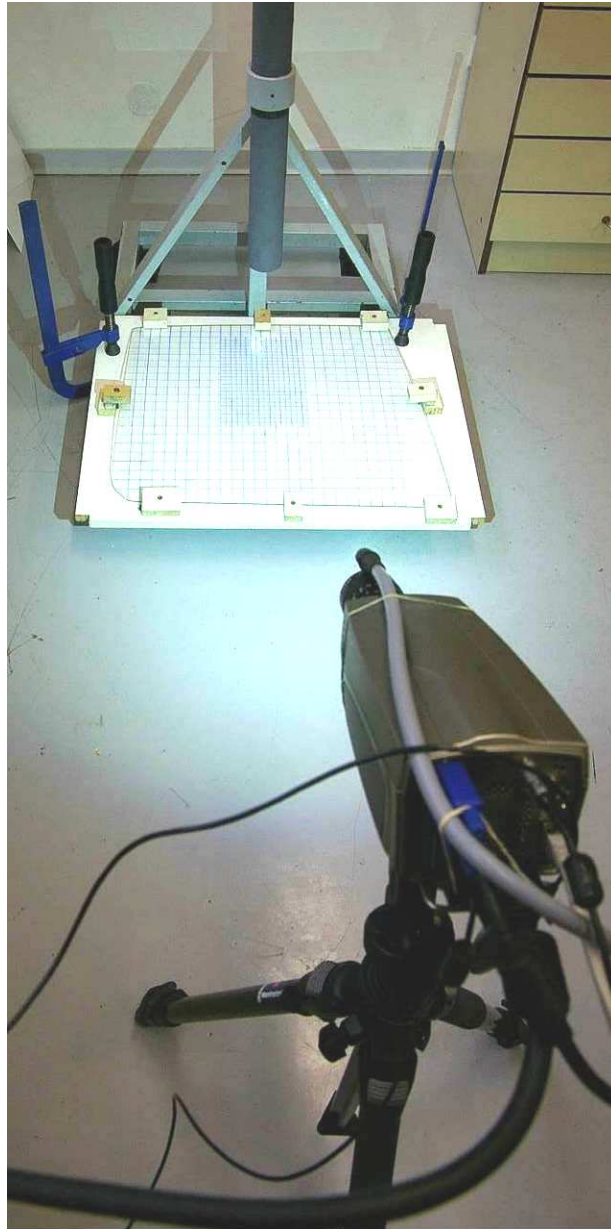
Dopadová rychlost tlouku:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \qquad v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,7} = 5,77 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \quad (14)$$

Parametry snímání

Rychlost snímání: 5 000 snímků/sekundu

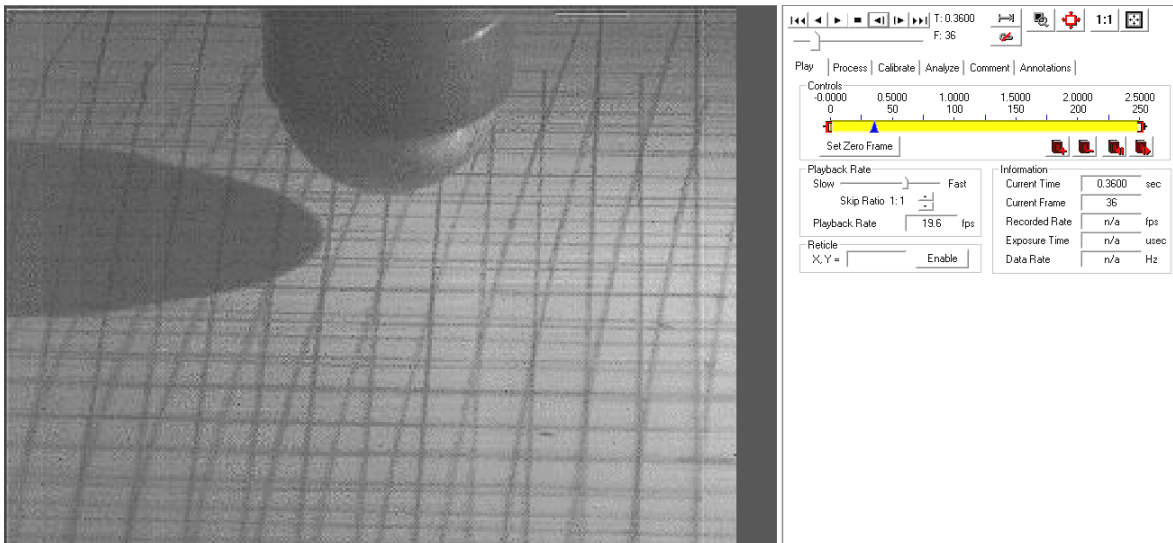
Shutter: 1 x



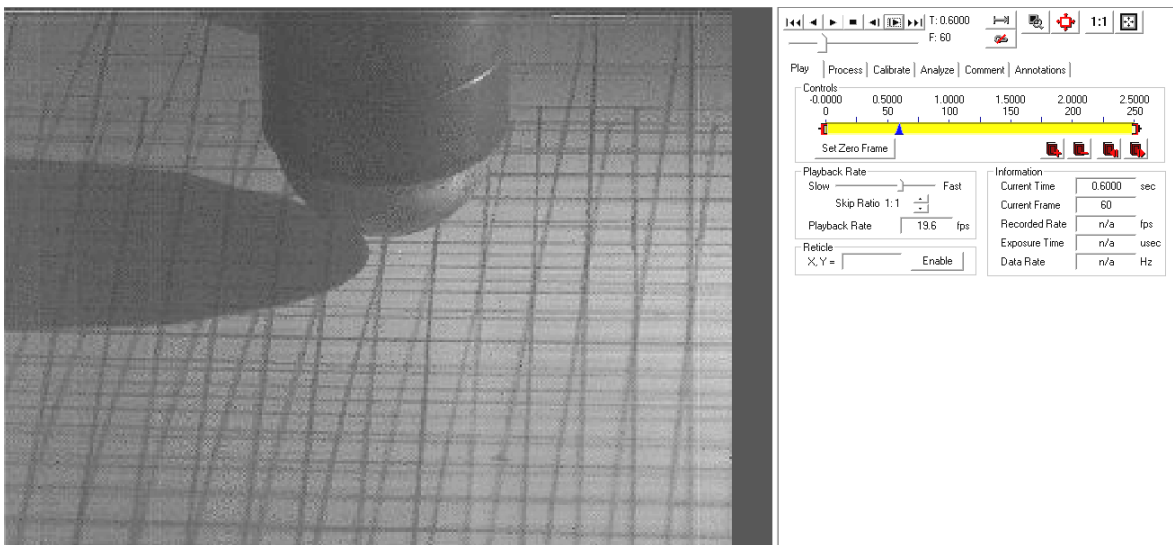
Obr. 55. Nastavení pozice kamery

### 9.1.1 Pokus 1

#### Výsledek:



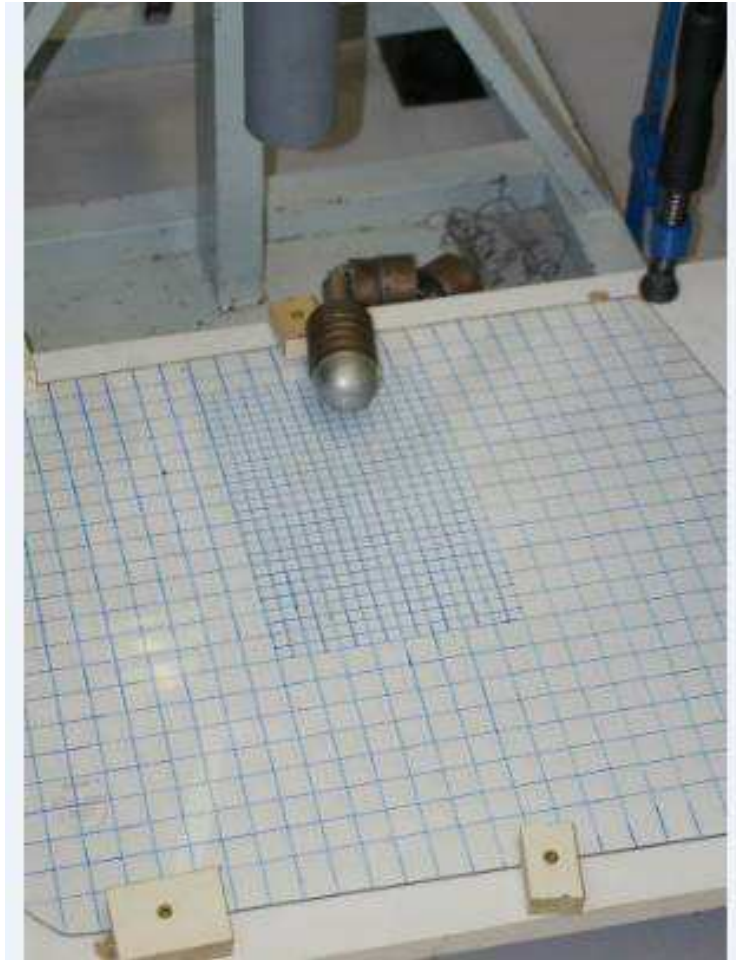
Obr. 56. Snímek prvního dotyku tlouku se sklem (snímek 36)



Obr. 57. Snímek maximálního průhybu (snímek 60)

Při prvním pokusu se sklo zachovalo tak, že při dopadu tlouku se pružně prohnulo až se přitlačilo k upínací podložce.

Doba průhybu (čas od prvního dotyku tlouku se sklem až po maximální průhyb) trvá 24 snímků což odpovídá času: 0,0048 s.



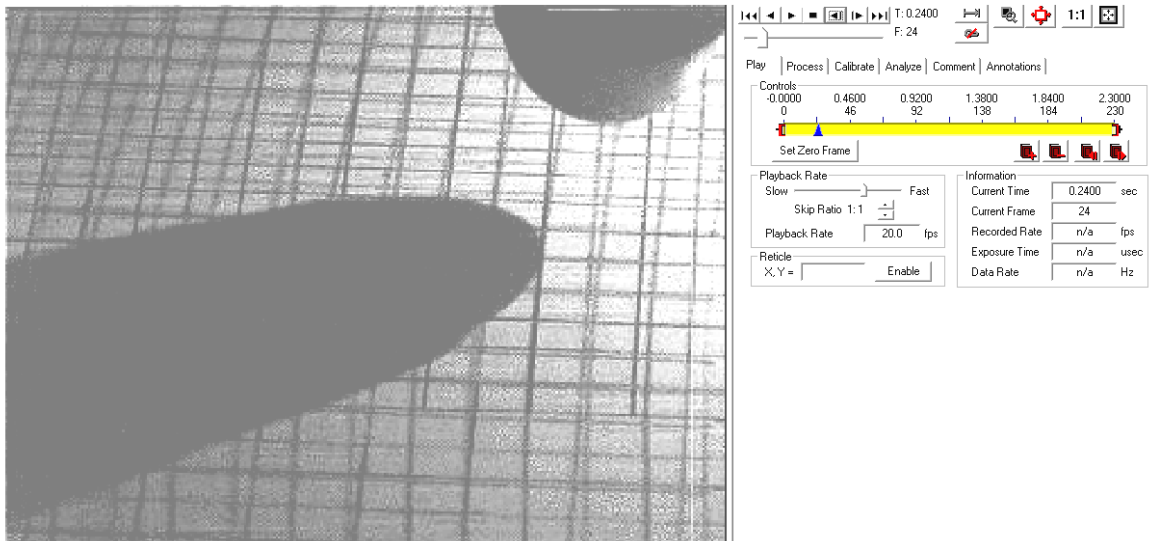
Obr. 58. Neporušené sklo po pokusu 1

### 9.1.2 Pokus 2

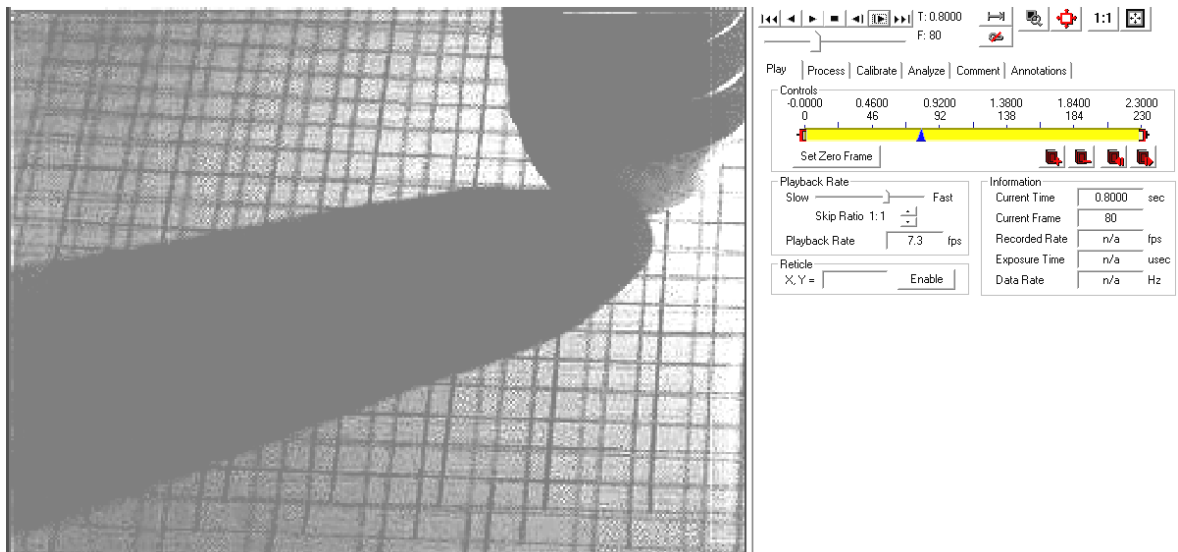
Při pokusu 2 byl tlouk pomocí vytočení vyrobené konstrukce nasměrován přímo do středu skla (kvůli tomu nebyl spouštěn ve vodící trubce, avšak padal volně).

Parametry zkoušky a nastavené parametry vysokorychlostní kamery zůstaly nezměněny.



Výsledek:

Obr. 59. Snímek prvního dotyku tlouku se sklem (snímek 24)



Obr. 60. Snímek maximálního průhybu (snímek 80)

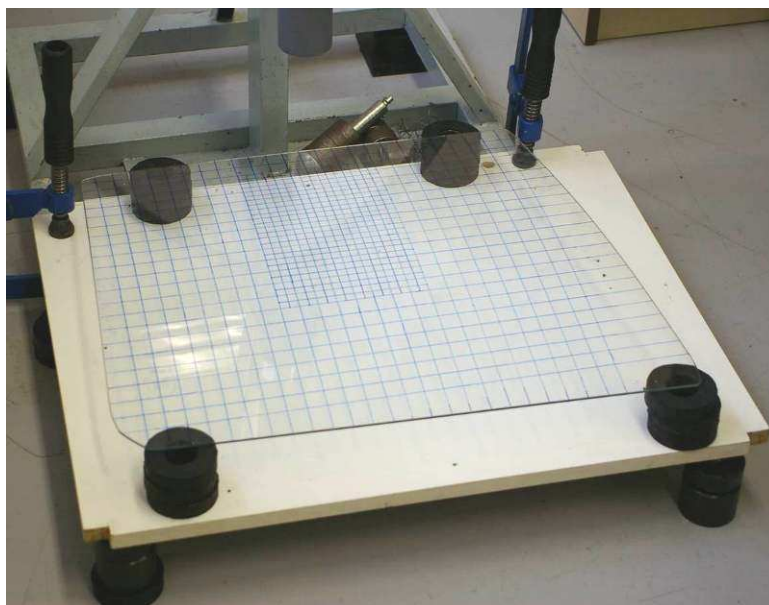
Při druhém pokusu nastal výsledek obdobný pokusu 1, kdy dopadající tlouk prohnul sklo až k upínací podložce, a nedošlo k roztržení skla.

Doba průhybu (čas od prvního dotyku tlouku se sklem až po maximální průhyb skla) trvá 56 snímků což odpovídá času: 0,0112 s.

### 9.1.3 Pokus 3

Při 3. pokusu bylo sklo pouze podepřeno pryžovými kotouči. Výška tohoto podložení je 8 cm, čímž se zmenšila rychlost dopadu tlouku na:

$$v = \sqrt{2 \cdot g \cdot h} \qquad v = \sqrt{2 \cdot 9,81 \cdot 1,62} = 5,64 \text{ m} \cdot \text{s}^{-1} \qquad (15)$$

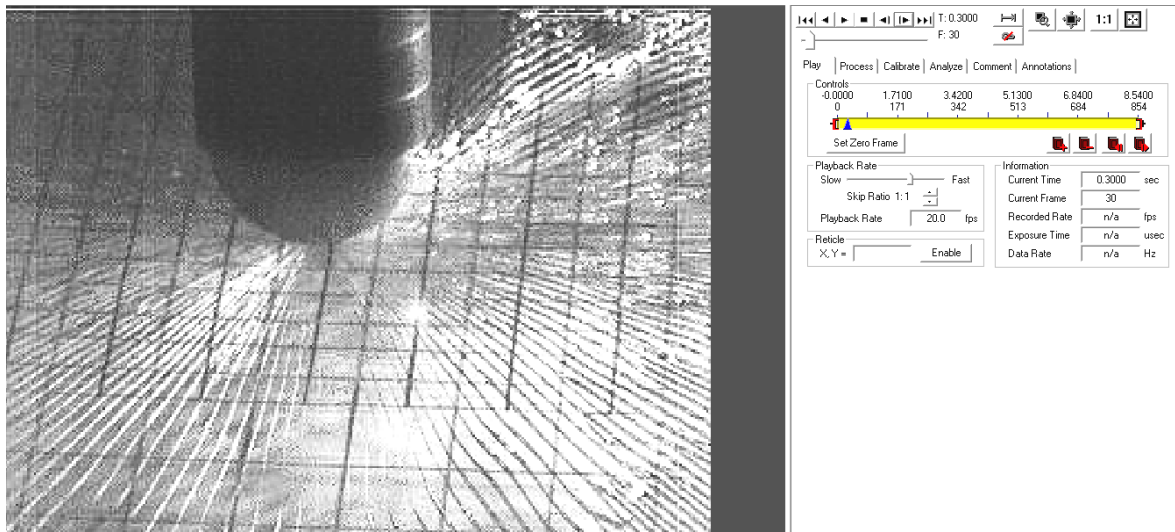


Obr. 61. Podložení skla pryžovými kotouči

Výsledek:



Obr. 62. Zachycení prvního náznaku šíření lomů (snímek 29)



Obr. 63. Šíření lomů (snímek 30)



Obr. 64. Roztříštění skla (snímek 323)

Při pokus 3 nastalo roztříštění skla na malé úlomky. Na obrázcích 62-64 lze pozorovat chování skla při nárazu tlouku. Na obrázku 62 ve vyznačeném okolí lze pozorovat první náznaky šíření lomů. Na obrázku 63 už lomy pokryly celou plochu skla. Čas mezi těmito obrázky je 0,0002 s. Obrázek 64 (po čase 0,0588 s od prvního dotyku tlouku se sklem) pak ukazuje roztříštění skla na malé úlomky. Vykazující charakteristika rozpadu kaleného skla je na obrázku 65.



Obr. 65. Sčítání úlomků na ploše 40 x 40 mm

Norma ČSN 70 1550 uvádí jako počet pro tvrzené autosklo tloušťky větší než 3,5 mm rozsah počtu možných úlomků mezi 40-350 kusů. Tento rozsah se však vztahuje na plochu 50 x 50 mm, která se nám bohužel po zkoušce nezachovala, tudíž je počet proveden na ploše 40 x 40 mm. Úlomky, které jsou po obvodě plochy se započítávají jako polovina úlomku.

Počet úlomků na ploše 40 x 40 mm je 206.

## 9.2 Tepelně-tvrzené sklo (praktická zkouška v terénu)

### Vzorek

Testovaný vzorek je boční sklo z automobilu Ford Mondeo, které není opatřeno bezpečností fólií. Toto sklo je umístěno přímo na automobilu tudíž simuluje reálnou skutečnost. Na sklo byla vytvořena čtvercová síť o velikosti čtverce  $20 \times 20$  mm.



Obr. 66. Testovaný vzorek

### *Měření tloušťky autoskla*

Měření bylo provedeno na výškoměru MITUTOYO

Tab. 11. Naměřené hodnoty tloušťky autoskla - Ford Mondeo

číslo měření	naměřená hodnota (mm)	číslo měření	naměřená hodnota (mm)	číslo měření	naměřená hodnota (mm)
1	3,316	11	3,33	21	3,31
2	3,342	12	3,2645	22	3,324
3	3,339	13	3,242	23	3,3
4	3,32	14	3,259	24	3,27
5	3,286	15	3,267	25	3,275
6	3,281	16	3,272	26	3,307
7	3,2665	17	3,2775	27	3,276
8	3,25	18	3,2875	28	3,2775
9	3,273	19	3,313	29	3,3035
10	3,316	20	3,311	30	3,311

Odhad aritmetického průměru a nejistota měření počítány dle vzorců (12) a (13).

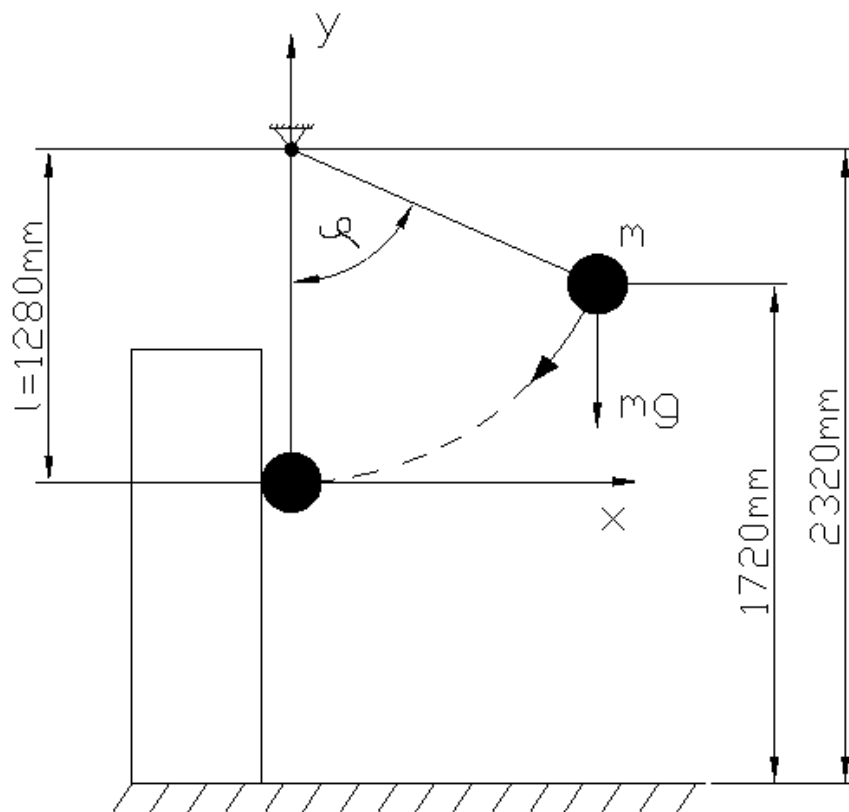
Tloušťka vzorku:  $3,292 \pm 0,026$  mm.

*Parametry zkoušky*

Zkouška byla provedena v terénu pomocí sestrojeného kyvadlového zařízení (viz obr. 67).



Obr. 67. Testovací zařízení



Obr. 68. Schéma zkušecího zařízení

Hmotnost závaží 5,1 kg

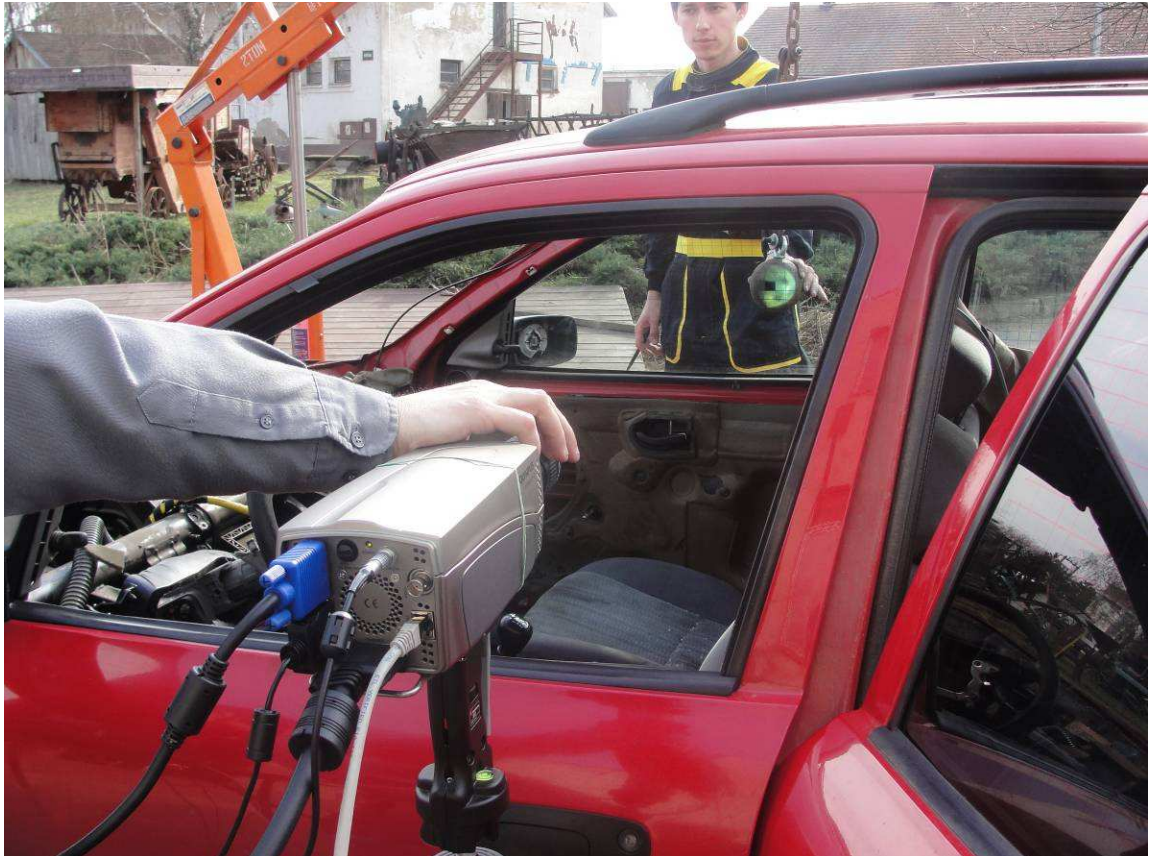
Úhel  $\varphi = 62^\circ$

#### Parametry snímání

Rychlost snímání: 5 000 fps

Shutter: 1 x

Kamera byla nastavena kolmo na snímané sklo, kdy byla nasměrována na vnitřní stranu skla (viz obr. 69).



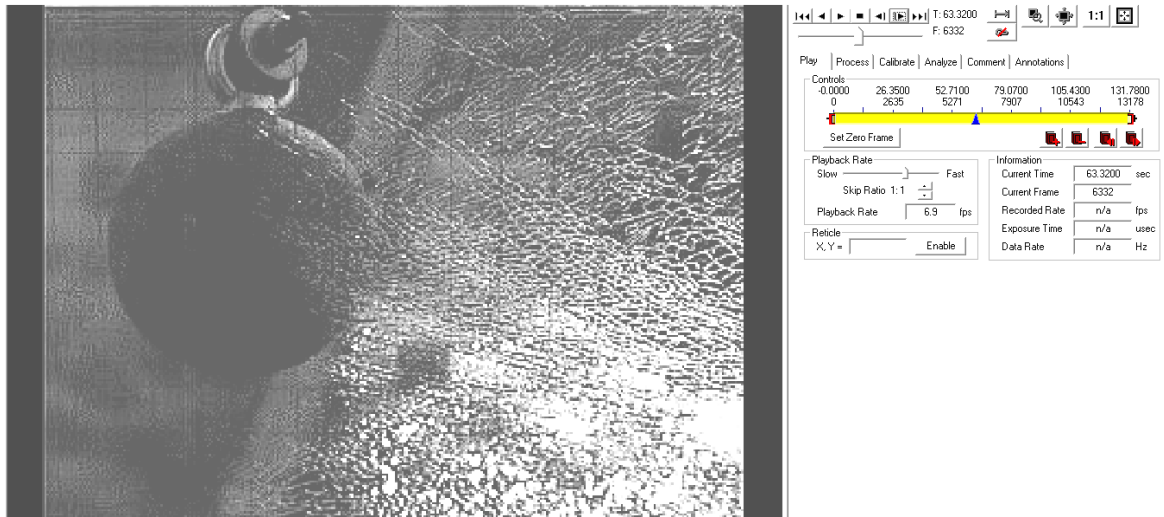
Obr. 69. Nastavení pozice kamery

### Výsledek

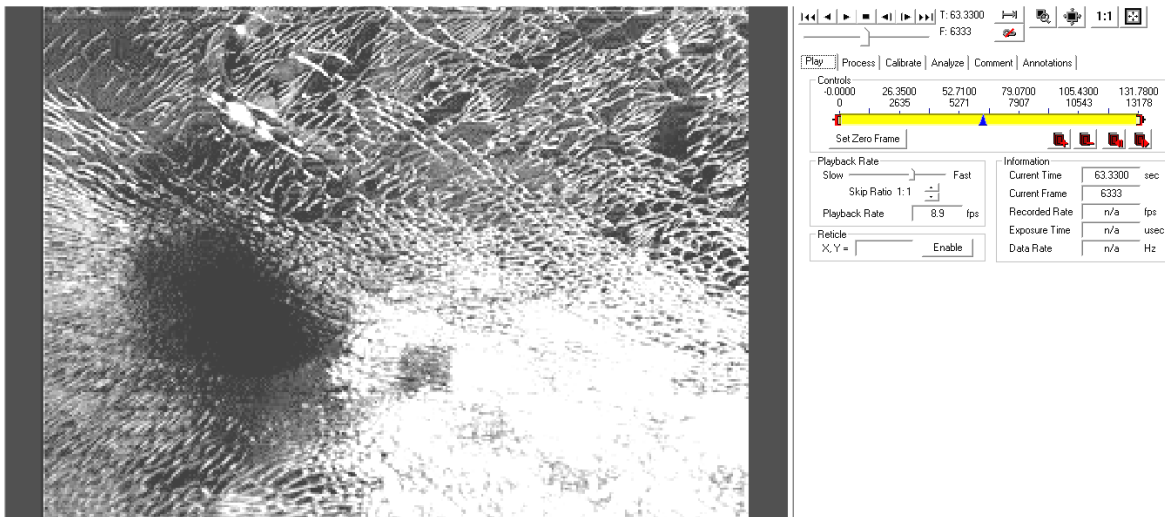


Obr. 70. Vznik prvních trhlin (snímek 6 331)





Obr. 71. Šíření lomů (snímek 6 332)



Obr. 72. Šíření lomů (snímek 6 333)

Na uvedených obrázcích č. 70-72 lze pozorovat šíření lomů na skle. Jednotlivé snímky jsou po 0,0002 s. Lze vidět, že při prvním styku koule se sklem došlo ke vzniku prvních trhlin na pravé straně od koule (označeno na obr. 70). Poté se během 0,0004 s lomy rozšířily po celém skle.

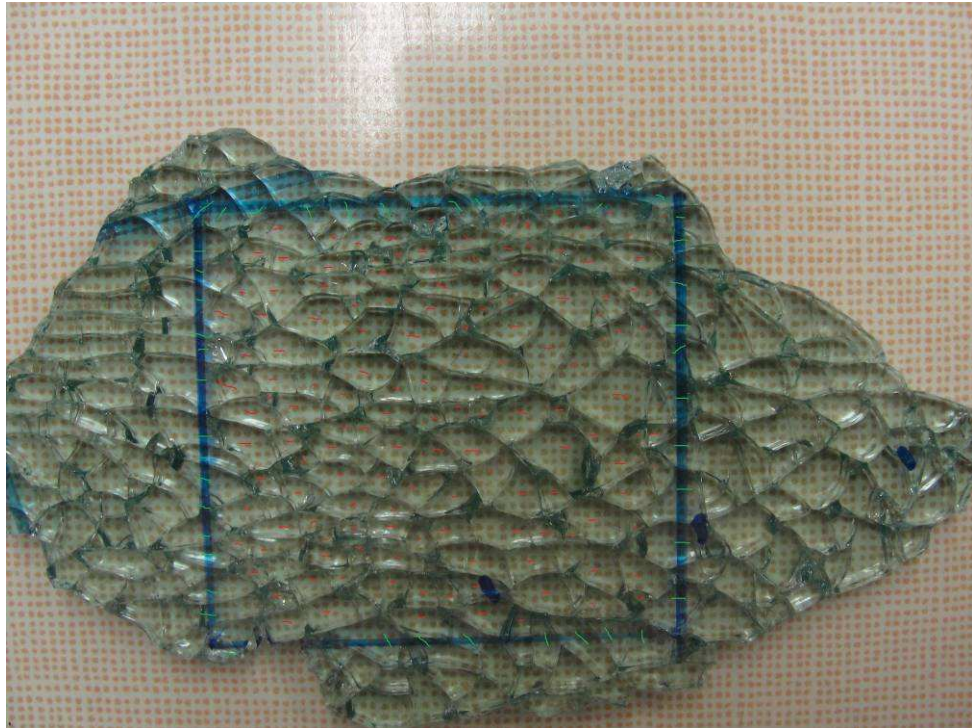
Na obr. 73-74 lze pozorovat roztržité autosklo po provedení zkoušky, kdy se sklo roztržilo na menší kousky do vnitřku auta.



Obr. 73. Vybité okno po dopadu koule



Obr. 74. Rozpad autoskla po provedení zkoušky



Obr. 75. Sčítání úlomků na ploše 40 x 40 mm

Norma ČSN 70 1550 uvádí rozsah úlomků na ploše 50 x 50 mm pro tloušťku tvrzeného skla v rozmezí 45-400 kusů.

Naměřený počet úlomků na ploše 40 x 40 mm - 167 úlomků. (pozn. po provedení zkoušky se normalizovaný vzorek 50 x 50 mm nezachoval).

### 9.3 Tepelně tvrzené sklo s bezpečností fólií (praktická zkouška v terénu)

#### Vzorek

Jako vzorek bylo použito boční autosklo na automobilu Ford Mondeo, na kterém byla nalepená bezpečnostní fólie. Na autoskle byla vytvořena čtvercová síť o velikosti čtverce 20 x 20 mm.



Obr. 76. Vzorek autoskla s nalepenou bezpečnostní fólií

Tab. 12. Naměřené hodnoty tloušťky fólie

číslo měření	naměřená hodnota (mm)	číslo měření	naměřená hodnota (mm)	číslo měření	naměřená hodnota (mm)
1	0,101	11	0,101	21	0,1005
2	0,101	12	0,1	22	0,1005
3	0,101	13	0,1	23	0,1
4	0,1005	14	0,1005	24	0,1
5	0,1015	15	0,1	25	0,1005
6	0,101	16	0,1005	26	0,1
7	0,1	17	0,1	27	0,1005
8	0,101	18	0,1005	28	0,1005
9	0,1005	19	0,1005	29	0,1005
10	0,101	20	0,1005	30	0,1005

Odhad aritmetického průměru a nejistota měření počítány dle vzorců (12) a (13).

Tloušťka fólie:  $0,101 \pm 0,001$  mm.

Parametry zkoušky

(viz 9.2)

Parametry snímání

Rychlost snímání: 5 000 snímků/sekundu

Shutter: 1 x



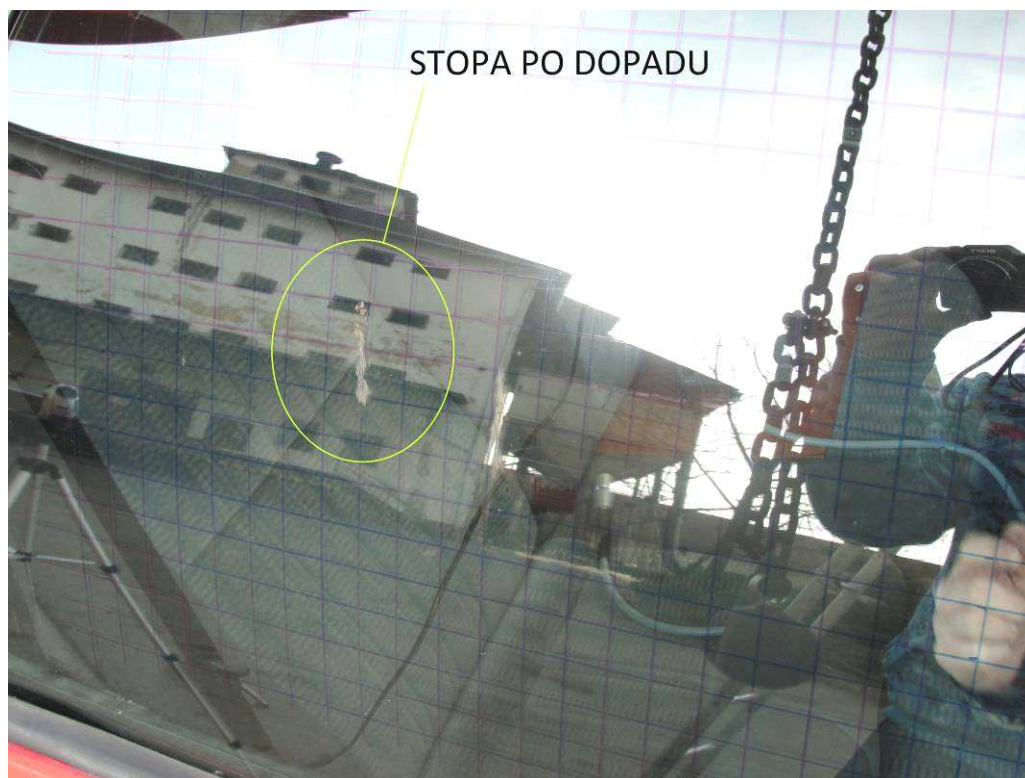
Obr. 77. Umístění pozice kamery

### 9.3.1 Pokus 1-4

#### Výsledek:



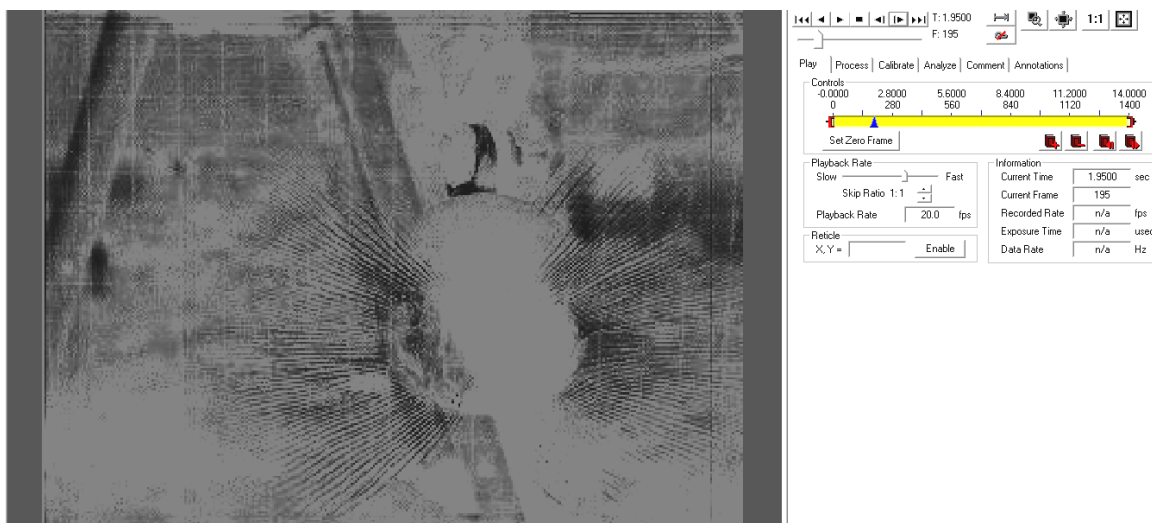
Obr. 78. Snímek při dotyku koule se sklem



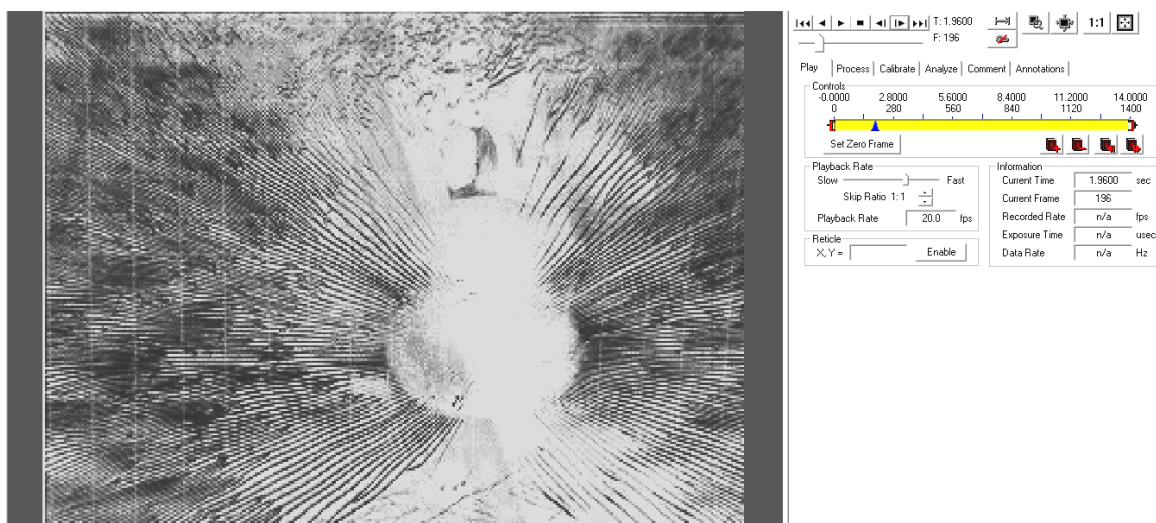
Obr. 79. Neporušené sklo po dopadu koule

Při pokusech 1-4 nastalo to, že sklo po dopadu koule zůstalo neporušené. V místě dopadu koule se vytvořila jen nepatrná stopa po kontaktu s koulí (vyznačena na obr. 79).

## 9.3.2 Pokus 5

Výsledek:

Obr. 80. Začátek vzniku lomů (snímek 195)



Obr. 81. Šíření lomů (snímek 196)

Při 5. pokusu nastalo roztříštění skla zobrazené na obrázcích 80-81, které odděluje čas 0,0002 s. Sklo po zkoušce zůstalo stále přilepené na bezpečnostní fólii, jak ukazují obrázky 82 a 83.



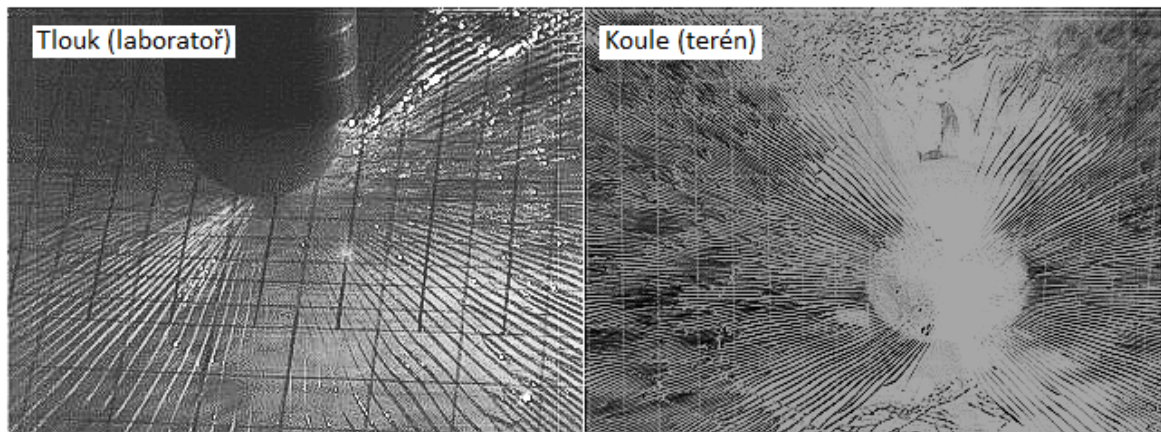
Obr. 82. Vnější pohled na autosklo s bezpečnostní fólií



Obr. 83. Vnitřní pohled na autosklo s bezpečnostní autofólií



## 9.4 Srovnání



Obr. 84. Srovnání laboratoř x terén

Na obr. 84 lze pozorovat šíření lomů při laboratorní zkoušce na crashovacím zařízení a zároveň při zkoušce v terénu pomocí sestrojeného kyvadla se zavěšenou koulí.

Jak lze z obrázku pozorovat, charakteristika šíření lomů je stejná. Tudíž lze vyvodit, že zkoušky rozpadu autoskel na crashovacím zařízení zcela dokážou nahradit nákladné a hlavně časově náročné zkoušky přímo na automobilech (v terénu). V problematičnosti zkoušek v terénu může hrát roli také prostředí a bezpečnostní hledisko.

## ZÁVĚR

Tato diplomová práce se skládá ze dvou částí, kterými jsou teoretická a praktická část.

V teoretické části byla podrobně popsána a vysvětlena problematika snímání vysokorychlostním kamerovým systémem i-SPEED 2 firmy Olympus.

Při tvorbě praktické části bylo prvním úkolem vyhledat normy zabývající se testováním autoskel a bylo zjištěno, že neexistuje ČSN ISO norma zabývající se testováním autoskel s bezpečnostní fólií.

Poté bylo podle ČSN EN ISO 6603 – Plasty - Stanovení chování tuhých plastů při více-sém rázovém namáhání navrženo vylepšení crashovacího zařízení umístěného v metrologické laboratoři na ústavu fakulty s možností aplikace testů autoskel. Byly navrhnuty 2 konstrukční varianty vylepšení, přičemž obě varianty byly vymodelovány ve 3D programu. Po zvážení všech rozhodujících faktorů, především jednodušší výroby a snadné možnosti spuštění tlouku mimo vodící trubku, byla vyrobena varianta B. Výrobní výkresy a výkres sestavy této varianty jsou uvedeny v příloze diplomové práce.

Na crashovacím zařízení s navrženou konstrukcí byla následně provedena zkouška roztříštění autoskla (boční autosklo z automobilu Favorit). Docílení roztříštění se povedlo až na 3. pokus, kdy se autosklo jen podložilo pryžovými podložkami. Všechny 3 provedené zkoušky byly nasnímány vysokorychlostním kamerovým systémem Olympus i-SPEED 2 rychlostí 5 000 fps. Nasnímané děje byly vyhodnoceny pomocí programu i-SPEED 2.

Následně kvůli porovnání naměřených dat se provedly praktické zkoušky v terénu. Pokusné vzorky byly boční autoskla umístěné přímo na vozidle značky Ford Mondeo. První vzorek bylo klasické autosklo a druhý vzorek autosklo s nalepenou bezpečnostní fólií. Roztříštění obou autoskel se provedlo pomocí sestaveného kyvadla se zavěšeným ocelovým závažím. Při zkoušce autoskla bez bezpečnostní fólie došlo k roztříštění na první pokus. U autoskla s bezpečnostní fólií při čtyřech pokusech nedošlo k poškození. Při pátém pokusu došlo k roztříštění autoskla, kdy jednotlivé úlomky skla zůstaly stále nalepeny na bezpečnostní fólii. Všechny měření byly nasnímány vysokorychlostním kamerovým systémem rychlostí 5 000 fps a následně vyhodnoceny pomocí programu i-SPEED 2.

Při porovnání laboratorní zkoušky a praktické zkoušky v terénu lze z provedených měření vidět, že chování při roztříštění autoskla je stejné u obou typů zkoušek.

Jako výsledek práce lze vyvodit to, že se podařilo dokázat, že laboratorní zkouška na vylepšeném crashovacím zařízení zcela dokáže simulovat praktické měření v terénu. Takže díky těmto naměřeným výsledkům odpadají časté problémy týkající se praktických zkoušek v terénu, jako jsou časová náročnost, finanční nákladnost, bezpečnostní hledisko a problémy související s prostředím (opakovatelnost).

**SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY**

- [1] PATA, Vladimír. Vysokorychlostní kamerové systémy. Brno : Akademické nakladatelství CERM, 2006. 96 s. ISBN 80-7204-480-X.
- [2] Dostupný z WWW: <<http://www.olympus.com/>>.
- [3] ČSN EN ISO 6603-1: *Plasty-Stanovení chování tuhých plastů při víceosém rázovém namáhání-Část 1: Metoda padajícího tlouku*. Český normalizační institut, Praha, 2000.
- [4] ČSN EN ISO 6603-2: *Plasty-Stanovení chování tuhých plastů při víceosém rázovém namáhání-Část 2: Instrumentovaná rázová zkouška*. Český normalizační institut, Praha, 2000.
- [5] High Speed Video. i-SPEED. Range Overview. [online]. [cit.2009-11-20]. Dostupný z WWW: <[http://www.olympus-ims.com/data/File/i-SPEED/i-SPEED\\_Range.en.pdf](http://www.olympus-ims.com/data/File/i-SPEED/i-SPEED_Range.en.pdf)>.
- [6] Dostupný z WWW: <<http://www.redlake.com/>>.
- [7] ČSN ISO 690. *Bibliografická citace : Obsah, forma a struktura*. Praha : Český normalizační institut, 1996. 32 s.
- [8] ČSN ISO 690-2. *Informace a dokumentace- Bibliografické citace : Část 2: Elektronické dokumenty nebo jejich části*. Praha : Český normalizační institut, 2000. 22 s.
- [9] Doc.RNDr.DOSTÁL, Jiří CSc.; RNDr.JANÁČEK, Zdeněk Csc. *Fyzika*. Zlín : UTB-Academia Centrum Zlín, 2004. 265 s. ISBN 80-7318-181-9.
- [10] ČSN 70 1550. *Bezpečnostní sklo tvrzené : Sklo pro zasklívání dopravních prostředků. Společná ustanovení*. Praha : Ústav pro normalizaci a měření, 1.1. 1989. 20 s.
- [11] Autoskla [online].[cit.2010-04-05]. Dostupný z WWW: <[http://www.autosklomezch.cz/index.php?option=com\\_content&view=article&id=46&Itemid=27](http://www.autosklomezch.cz/index.php?option=com_content&view=article&id=46&Itemid=27)>.

- [12] ČSN 70 0592. Bezpečnostní sklo pro automobily, traktory a zemědělské stroje : Stanovení mechanických vlastností. Praha : Český normalizační institut, 1.7.1980. 10 s.
- [13] High Speed Video. i-SPEED 2. Features & Specifications. [online]. [cit.2009-11-24]. Dostupný z WWW: <[http://www.olympus-ims.com/data/File/i-SPEED/i-SPEED\\_2\\_Spec\\_Sheet.en.pdf](http://www.olympus-ims.com/data/File/i-SPEED/i-SPEED_2_Spec_Sheet.en.pdf)>.
- [14] LEINVEBER, Jan ; ŘASA, Jaroslav ; VÁVRA, Pavel . Strojnické tabulky. Praha : Scientia, 1999. 985 s.
- [15] Doc. Jan Komenda, Ing. Miroslav Novák. Vysokorychlostní kamera. Základní informace. [online]. [cit.2009-11-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.rucevzhuru.cz/index.php/component/content/article/53-rychlokamery/133-kamery.html>>.
- [16] High Speed Video. i-SPEED 3. Features & Specifications. [online]. [cit.2009-11-20]. Dostupný z WWW: <[http://www.olympus-ims.com/data/File/i-SPEED/i-SPEED\\_3\\_Spec\\_Sheet.en.pdf](http://www.olympus-ims.com/data/File/i-SPEED/i-SPEED_3_Spec_Sheet.en.pdf)>.
- [17] High Speed Video. i-SPEED FS. Features & Specifications. [online]. [cit.2009-11-20]. Dostupný z WWW: <[http://www.olympus-ims.com/data/File/i-SPEED/i-SPEED\\_FS\\_Spec\\_Sheet.en.pdf](http://www.olympus-ims.com/data/File/i-SPEED/i-SPEED_FS_Spec_Sheet.en.pdf)>.
- [18] Bezpečnostní autofólie. [online]. [cit.2010-03-10]. Dostupný z WWW: <<http://www.glassgarant.cz/folie/autofolie/bezpecnostni-autofolie/>>.
- [19] Prof.Dr. HORÁK, Zdeněk ; Ing.Dr. KRUPKA, František ; Ing.Dr. ŠINDELÁŘ, Václav. *Technická fyzika*. Praha : Státní nakladatelství technické literatury, 1960. 1436 s.
- [20] Matematické kyvadlo. [online]. [cit.2010-04-25]. Dostupný z WWW: <[http://cs.wikipedia.org/wiki/Matematick%C3%A9\\_kyvadlo](http://cs.wikipedia.org/wiki/Matematick%C3%A9_kyvadlo)>.

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

°C	Stupeň Celsia
μs	Mikrosekunda
3D	Trojrozměrný prostor
CDU	Camera display unit
cm	Centimetr
E	Energie (J)
fps	Frames per second
g	Gravitační zrychlení( $m.s^{-2}$ )
GB	Gigabyte
h	Výška dopadu tlouku(m)
HSV	High speed video
J	Moment setrvačnosti tělesa k ose O
kg	Kilogram
l	Délka závěsu kyvadla (m)
m	Hmotnost(kg)
$m.s^{-1}$	Metr za sekundu
mm	Milimetr
ns	Nanosekunda
obr/s	Obrázků za sekundu
PC	Personal computer
R	Poloměr setrvačnosti tělesa k ose kyvu
RCP	Remote control pad
s	Sekunda
š	Šířka

$T_0$  Doba kmitu

$v$  Výška

$W$  Watt

$\tau_0$  Doba kyvu

$\varphi$  Okamžitá úhlová výchylka těžiště z rovnovážné polohy

**SEZNAM OBRÁZKŮ**

Obr. 1. i-SPEED 1GB [2] .....	15
Obr. 2. i-SPEED 2 [2] .....	17
Obr. 3. Připojovací systém.....	20
Obr. 4. Konektor rozšiřujících funkcí.....	22
Obr. 5. i-SPEED 3 [2] .....	22
Obr. 6. i-SPEED FS [2] .....	24
Obr. 7. Jednotka RCP .....	26
Obr. 8. Propojení systému pomocí RCP .....	27
Obr. 9. Propojení systému pomocí PC/přenosného počítače .....	28
Obr. 10. 1 000 snímků/s, Shutter 1 x .....	30
Obr. 11. 1 000 snímků/s, Shutter 2 x .....	30
Obr. 12. Vliv shutteringu na snímání periodického děje - Shutter 1 x .....	31
Obr. 13. Vliv shutteringu na snímání periodického děje - Shutter 2 x .....	31
Obr. 14. Přímé osvětlení .....	32
Obr. 15. Podsvětlení.....	33
Obr. 16. Rozptýlené osvětlení.....	33
Obr. 17. Souosé osvětlení .....	33
Obr. 18. Objektiv PENTAX 12,5-75 mm, 1:1,8.....	35
Obr. 19. Záložka Acquire.....	37
Obr. 20. Okno Add a Camera .....	37
Obr. 21. Okno zobrazující seznam otevřených kamer .....	38
Obr. 22. Set Camera(s) to Record .....	39
Obr. 23. Okno Strip.....	39
Obr. 24. Seznam uložených souborů .....	40
Obr. 25. Nástroje Pan a Zoom .....	40
Obr. 26. Ovládací panel .....	41
Obr. 27. Záložka Play .....	41
Obr. 28. Záložka Process .....	42
Obr. 29. Záložka Calibrate.....	42
Obr. 30. Záložka Analyze .....	43
Obr. 31. Záložka Comment.....	43



Obr. 32. Záložka Annotations.....	44
Obr. 33. Úvodní obrazovka Olympus i-SPEED .....	45
Obr. 34. Hlavní menu i-SPEED.....	46
Obr. 35. Menu ovládání obrazu i-SPEED.....	46
Obr. 36. Menu ovládání záznamu i-SPEED .....	47
Obr. 37. Menu karty i-SPEED .....	48
Obr. 38. Menu nastavení funkcí i-SPEED .....	48
Obr. 39. Schéma zkušebního zařízení-padostroj [3].....	50
Obr. 40. Fyzikální kyvadlo .....	52
Obr. 41. Matematické kyvadlo.....	54
Obr. 42. Výroba plovoucího skla [11] .....	55
Obr. 43. Crashovací zařízení.....	58
Obr. 44. Návrh varianty A .....	59
Obr. 45. Detail konstrukce varianty A .....	60
Obr. 46. Návrh varianty B.....	61
Obr. 47. Detail konstrukce varianty B .....	62
Obr. 48. Otočení konstrukce o 180° .....	62
Obr. 49. Vyrobena konstrukce .....	63
Obr. 50. Zajištění polohy tlouku .....	64
Obr. 51. Crashovací zařízení s navrženou konstrukcí.....	65
Obr. 52. Testovaný vzorek upnutý k dřevěné podložce.....	66
Obr. 53. Upnutý vzorek ke crashovacímu zařízení.....	67
Obr. 54. Měření tloušťky autoskla na výškoměru.....	68
Obr. 55. Nastavení pozice kamery .....	70
Obr. 56. Snímek prvního dotyku tlouku se sklem (snímek 36) .....	71
Obr. 57. Snímek maximálního průhybu (snímek 60) .....	71
Obr. 58. Neporušené sklo po pokusu 1 .....	72
Obr. 59. Snímek prvního dotyku tlouku se sklem (snímek 24) .....	73
Obr. 60. Snímek maximálního průhybu (snímek 80) .....	73
Obr. 61. Podložení skla pryžovými kotouči.....	74
Obr. 62. Zachycení prvního náznaku šíření lomů (snímek 29).....	74
Obr. 63. Šíření lomů (snímek 30) .....	75
Obr. 64. Roztříštění skla (snímek 323).....	75

Obr. 65. Sčítání úlomků na ploše 40 x 40 mm .....	76
Obr. 66. Testovaný vzorek .....	77
Obr. 67. Testovací zařízení .....	78
Obr. 68. Schéma zkoušecího zařízení .....	79
Obr. 69. Nastavení pozice kamery .....	80
Obr. 70. Vznik prvních trhlin (snímek 6 331) .....	80
Obr. 71. Šíření lomů (snímek 6 332) .....	81
Obr. 72. Šíření lomů (snímek 6 333) .....	81
Obr. 73. Vybité okno po dopadu koule .....	82
Obr. 74. Rozpad autoskla po provedení zkoušky .....	82
Obr. 75. Sčítání úlomků na ploše 40 x 40 mm .....	83
Obr. 76. Vzorek autoskla s nalepenou bezpečnostní fólií .....	84
Obr. 77. Umístění pozice kamery .....	85
Obr. 78. Snímek při dotyku koule se sklem .....	86
Obr. 79. Neporušené sklo po dopadu koule .....	86
Obr. 80. Začátek vzniku lomů (snímek 195) .....	87
Obr. 81. Šíření lomů (snímek 196) .....	87
Obr. 82. Vnější pohled na autosklo s bezpečnostní fólií .....	88
Obr. 83. Vnitřní pohled na autosklo s bezpečnostní autofólií .....	88
Obr. 84. Srovnání laboratoř x terén .....	89

**SEZNAM TABULEK**

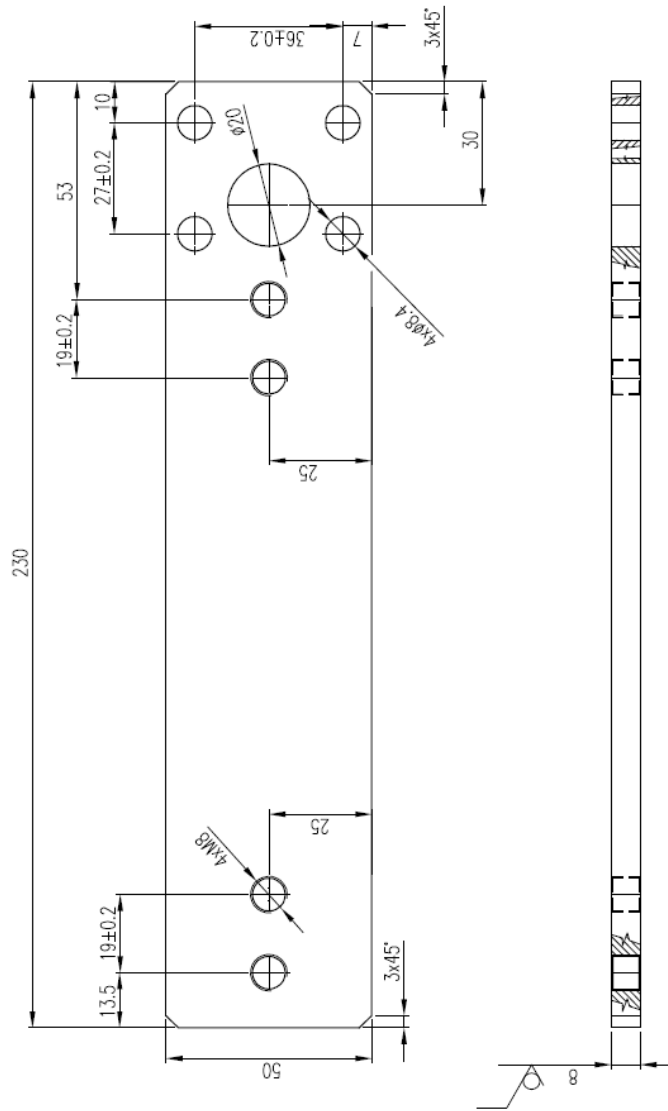
Tab. 1. Parametry sestavy i-SPEED 1GB [2] .....	16
Tab. 2. Parametry sestavy i-SPEED 2 [13] .....	17
Tab. 3. Jmenovité hodnoty rychlostí a rozlišení [13].....	19
Tab. 4. Parametry sestavy i-SPEED 3 [16] .....	23
Tab. 5. Porovnání parametrů vysokorychlostních kamerových systémů [2, 16, 13] .....	25
Tab. 6. Nastavení parametrů (rychlost snímání/shutter při snímání) .....	32
Tab. 7. Zadávané parametry v panelu Acquire/Video .....	38
Tab. 8. Zadávané parametry v panelu Acquire/Data.....	38
Tab. 9. Zadávané parametry v panelu Acquire/Mode .....	39
Tab. 10. Naměřené hodnoty tloušťky autoskla - Favorit .....	68
Tab. 11. Naměřené hodnoty tloušťky autoskla - Ford Mondeo .....	77
Tab. 12. Naměřené hodnoty tloušťky fólie .....	84

**SEZNAM PŘÍLOH**

- P1: Sestava varianty B, číslo výkresu DP-1-B
- P2: Výrobní výkres desky, číslo výkresu DP-101
- P3: Výrobní výkres objímky, číslo výkresu DP-102
- P4: Výrobní výkres držáku, číslo výkresu DP-103
- P5: Výrobní výkres kladky, číslo výkresu DP-104
- P6: Výrobní výkres čepu, číslo výkresu DP-105



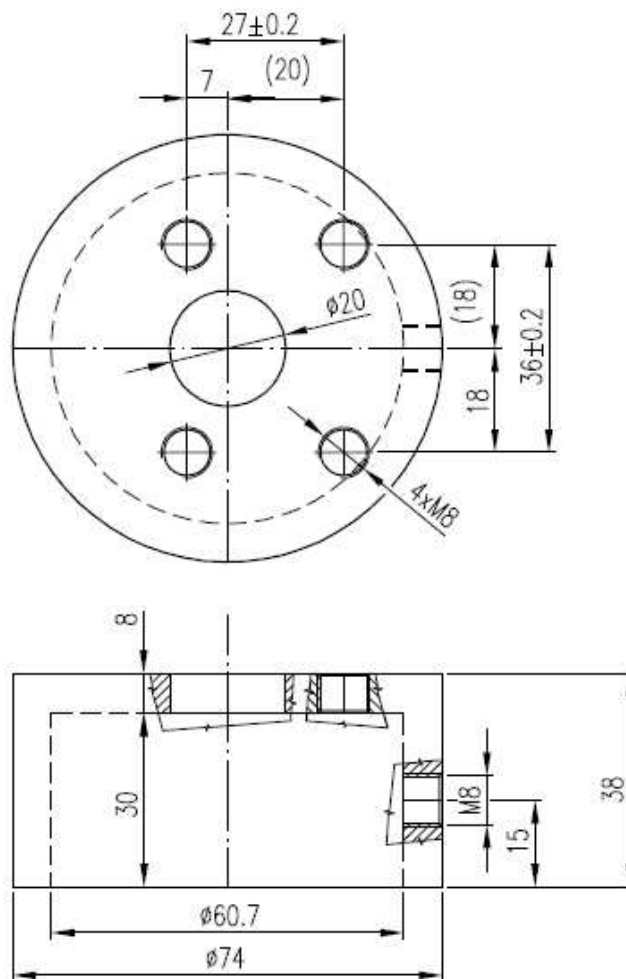
# PŘÍLOHA P II: VÝROBNÍ VÝKRES DESKY




Ra 6.3 (  )

d)	PŘESNOST	Materiál	11.500
c)	TOLEROVÁNÍ	Polotovár	PLD 50x6-235 ČSN 42 5522
b)	PROMĚNĚNÍ	etφ	Hmotnost 0,7 kg
a)	Index	UTB	Zlín
Změna		Třída	
Mříčko	Posouzení	Datum	Datum
1:1	Kreslí	Baroň Michal	Název
Č. seznamu	Technolog		DESKA
Č. sestavy	Normalizace		Typ
Starý výkr.	Schválil		Čís. výkresu
Nový výkr.	Datum	10.1.2010	DP-101
			List

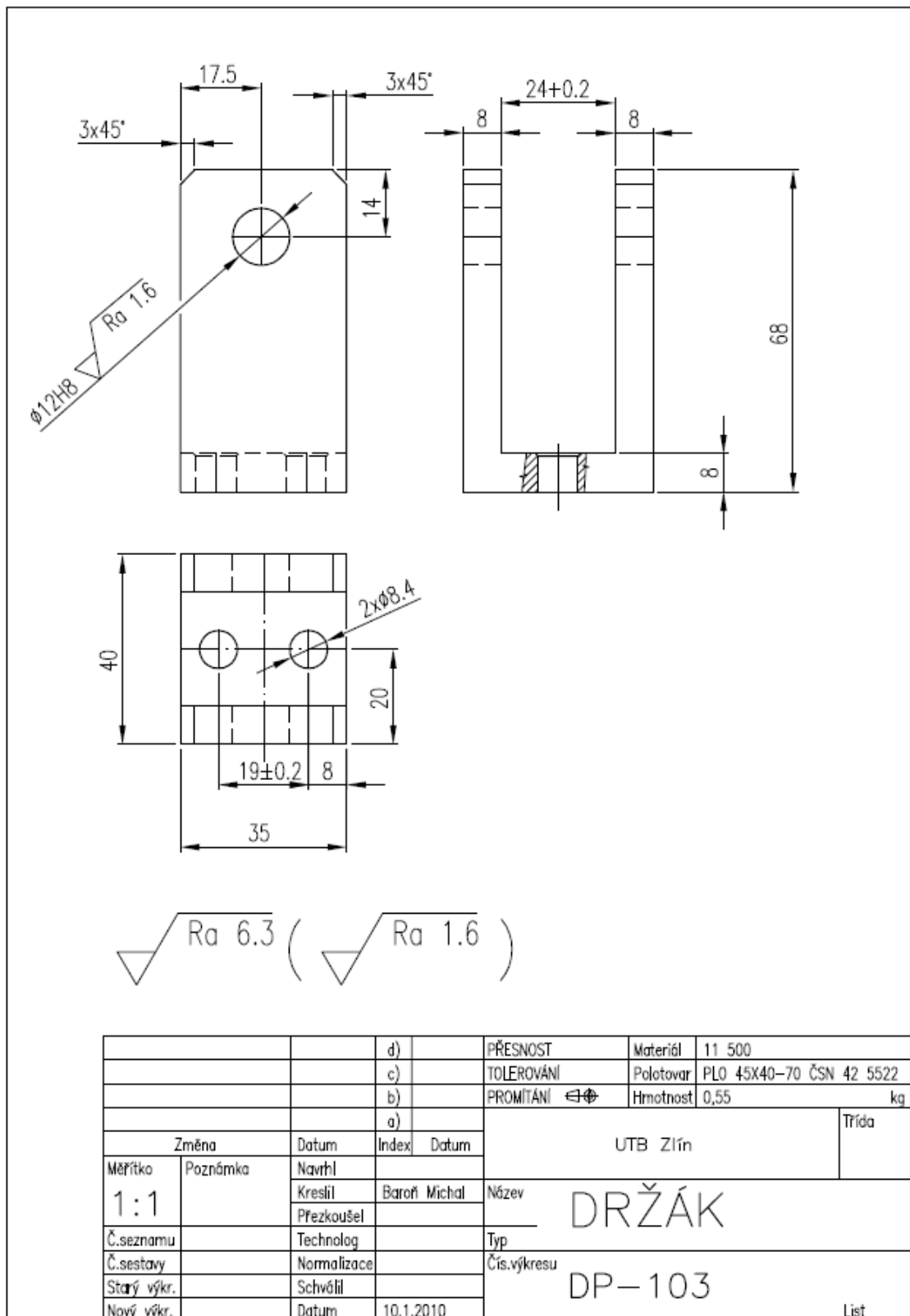
## PŘÍLOHA P III: VÝROBNÍ VÝKRES OBJÍMKY



 Ra 6.3

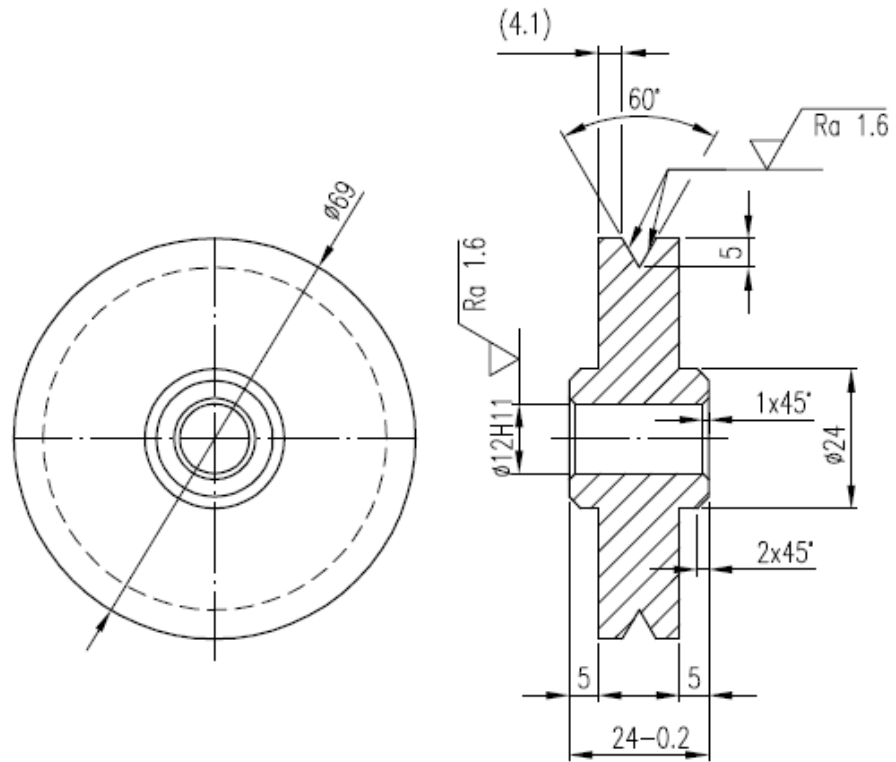
		d)		PŘESNOST	Materiál	11 500
		c)		TOLEROVÁNÍ	Polotovar	$\phi 75-40$ ČSN 42 5510
		b)		PROMĚTÁNÍ $\text{⊕}$	Hmotnost	0.3 kg
		a)		UTB Zlín		
	Změna	Datum	Index	Trída		
Měřítko	Poznámka	Navrhl		Název		
1:1		Kreslil	Baroň Michal	OBJÍMKA		
Č.seznamu		Přezkoušel		Typ		
Č.sestavy		Technolog		Čís.výkresu		
Starý výkr.		Normalizace		DP-102		
Nový výkr.		Schválil		List		
		Datum	10.1.2010			

# PŘÍLOHA P IV: VÝROBNÍ VÝKRES DRŽÁKU





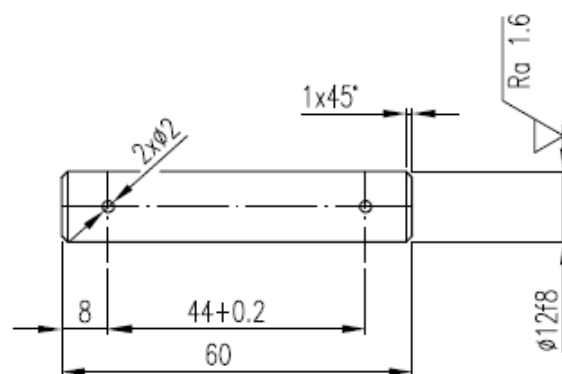
# PŘÍLOHA P V: VÝROBNÍ VÝKRES KLADKY



$\sqrt{Ra 6.3}$  (  $\sqrt{Ra 1.6}$  )

		d)		PŘESNOST	Materiál	11 500
		c)		TOLEROVÁNÍ	Polotovar	$\phi 70-26$ ČSN 42 5510
		b)		PROMĚTÁNÍ	$\text{⊕}$	Hmotnost 0.55 kg
		a)		UTB Zlín		Třída
Měřítko	Změna	Datum	Index	Datum		
1:1	Poznámka	Navrhl	Kreslil	Baroň Michal	Název	KLADKA
Č.seznamu		Technolog	Přezkoušel		Typ	
Č.sestavy		Normalizace			Čís.výkresu	DP-104
Starý výkr.		Schwálil				
Nový výkr.		Datum	10.1.2010			List

# PŘÍLOHA P VI: VÝROBNÍ VÝKRES ČEPU



$\sqrt{Ra 6.3}$  (  $\sqrt{Ra 1.6}$  )

		d)		PŘESNOST	Materiál	11 500
		c)		TOLEROVÁNÍ	Polotovar	$\phi 14-62$ ČSN 42 5510
		b)		PROMĚTÁNÍ	$\text{⊕}$	Hmotnost 0.15 kg
		a)		UTB Zlín		
Změna		Datum	Index	Datum	Třída	
Měřítko	Poznámka	Navrhl		Název	ČEP	
1:1		Kreslil	Baroň Michal	Typ	DP-105	
Č.seznamu		Přezkoušel		Čís.výkresu	DP-105	
Č.sestavy		Technolog				
Starý výkr.		Normalizace				
Nový výkr.		Schválil				
		Datum	10.1.2010		List	